msr 7

messen · steuern · regeln

U

Leiter I

Leiter II

Fe - Konst.

NiCr - Ni

PtRh - Pt

ϑ



VEB
Verlag Technik
Berlin
Juli 1984
EVP: 4,– M

Neuerscheinungen und Neuauflagen

Selbstorganisation von Vorhersagemodellen

Von Prof. d. techn. Wiss. A. G. Ivachnenko und Doz. Dr. sc. oec. Dr.-Ing. Johann-Adolf Müller.
1. Auflage. 272 Seiten, 72 Bilder, 44 Tafeln,
Kunstleder, 36,— M.
Bestellangaben: 5533521/Ivachnenko, Vorhersage

Eine systematische Darstellung der Prinzipien und Algorithmen der Selbstorganisation mathematischer Modelle auf der EDVA. Für alle auf die Systemforschung orientierten Fachleute, die sich für die Ermittlung von Vorhersagen bei ungenügender A-priori-Information interessieren.

Mikrorechner

Wirkungsweise, Programmierung, Applikation

Von Prof. Dr. sc. techn. Wolfgang Schwarz, Prof. Dr. sc. techn. Gernot Meyer und Prof. Dr. sc. techn. Dietrich Eckhardt.
3., stark bearbeitete Auflage.
360 Seiten, 318 Bilder, 22 Tafeln,
Kunstleder, 32,— M, Ausland 36,— M.
Bestellangaben: 5531980/Schwarz, Mikrorechner

Die Auflage ist modernisiert worden. Wesentlich erweitert wurde der Abschnitt über höhere Programmiersprachen; der Anhang wurde als Arbeitsmaterial für den Mikrorechneranwender völlig neu gestaltet. Ausführungen über Einchipmikrorechner bereichern. den Stoff.

Tabellenbuch Montage

Wissensspeicher für den Werkmontage

Herausgegeben von Doz. Dr. sc. techn. Erhardt Richter, Doz. Dr. sc. techn. Werner Schilling und Dr.-Ing. Manfred Weise.
Erarbeitet von einem Autorenkollektiv. 1. Auflage.
552 Seiten, 235 Bilder, 349 Tafeln,
Kunstleder, 58,— M.
Bestellangaben: 5531665/Richter, Werkmontage

Fakten, Zahlen und Diagramme, die in der Fachliteratur nur verstreut zu finden sind, wurden hier zusammengefaßt und nutzerfreundlich aufbereitet. Praktiker und Studenten finden jetzt schnell und zuverlässig die gewünschten Informationen. Die Gliederung entspricht den Hauptwegen der Montagerationalisierung.

Stochastische Systeme

Grundlagen

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Wunsch und Dr. sc. techn. Helmut Schreiber.
1. Auflage. 176 Seiten, 110 Bilder,
Leinen, 13,— M, Ausland 25,— M.
Bestellangaben: 5533257/Wunsch, Stochast. Systeme

Das Buch führt in knapper Darstellungsweise in die Wahrscheinlichkeitsrechnung ein, legt die Theorie zufälliger Prozesse dar und wendet sie auf die Informationstechnik an. Der Stoff wird bei hohem theoretischem Niveau anwendungsbezogen dargestellt. In zahlreichen Übungsaufgaben mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden werden die Darlegungen vertieft und weitergeführt.

TECHNIK-WÖRTERBUCH

Polytechnisches Wörterbuch

Russisch—Deutsch

Herausgegeben von Paul Hüter und Dipl. phil. Horst Görner.
Zusammengestellt von einem Autorenkollektiv.
4., durchgesehene Auflage.
In zwei Bänden, mit etwa 124000 Wortstellen
1756 Seiten,
Kunstleder, Bde. I/II 54,— M, Ausland 120,— M.
Bestellangaben: 5529709/Hüter, Polyt. Wb. R—D

Zur Zeit noch lieferbar:

Kontinuierliche Systeme

Arbeitsbuch: Aufgaben und Anwendungen

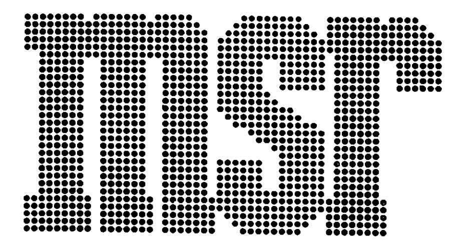
Von Doz. Dr.-Ing. Josef Sponer.
1. Auflage. 200 Seiten, 150 Bilder, 9 Tafeln,
Leinen, 14,— M, Ausland 20,— M.
Bestellangaben: 5524932/Sponer, Systeme Arb'buch

In diesem Buch werden die Beschreibung kontinuierlicher Systeme im Zeit-, Bild- und Frequenzbereich sowie Struktureigenschaften kybernetischer Systeme anhand rechnerischer Übungen behandelt. Die 94 Übungskomplexe sind gegliedert in Aufgabe, Lösungshinweis, Ergebnis und Lösungsweg.

Auslieferung durch den Fachbuchhandel

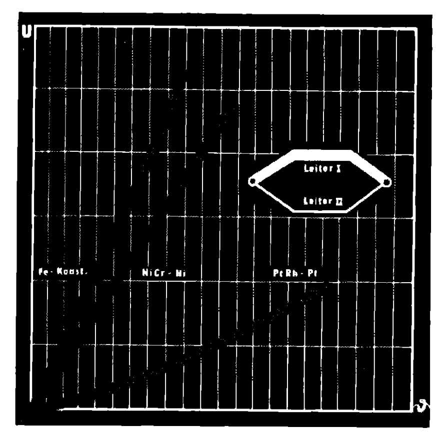


VEB VERLAG TECHNIK BERLIN



messen·steuern·regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Ein Thermoelement ist ein aktiver Temperaturspannungswandler, d. h., zwischen zwei thermoelektrisch verschiedenen Leitern, die an einer Meßstelle und einer Vergleichsstelle miteinander verbunden sind, entsteht eine von der Temperaturdifferenz zwischen Meß- und Vergleichsstelle abhängige Thermospannung, die im geschlossenen Kreis einen Strom antreibt. Wie das Titelbild zeigt, ist die Höhe der entstehenden Spannung auch von der Werkstoffkombination der Leiter abhängig.
Lesen Sie mehr darüber im Beitrag auf Seite 306.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

7

27. Jahrgang
Juli 1984

VEB
VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE

ISSN 0026-0347

G. Wechsung[1])

Entwurf effizienter Algorithmen – wesentliche Voraussetzung für rationelle Behandlung von Automatisierungsproblemen[2])

1. Die Bedeutung einer Theorie des Algorithmenentwurfs

Ein wesentlicher Mangel heutiger theoretischer Untersuchungen auf dem Gebiet der Automatisierung und Optimierung (wie übrigens aber auch auf allen anderen Gebieten) besteht darin, daß die Komplexität und Mehrschichtigkeit der praktisch vorliegenden Aufgaben immer wieder in unzulässiger Weise vereinfacht werden [6].
Dennoch gibt es gerade in komplexen Aufgabenstellungen immer wieder klar abgegrenzte Teilaufgaben, deren algorithmische Lösung zur Beherrschung des Gesamtproblems unabdingbar ist und bei denen es sogar auf gute Lösungen effizienter Algorithmen ankommt. Man denke beispielsweise an Echtzeitsteuerungen komplizierter industrieller Prozesse, bei denen die steuernden technischen Parameter ohne Zeitverzug aus gewissen aktuellen Meßwerten berechnet werden müssen.
Die wenigen Bemerkungen reichen sicher, um die Breite der möglichen Anwendungen der Rechentechnik bei Automatisierungsproblemen deutlich zu machen, zeigen aber auch, daß es notwendig ist, für diese Anwendungen die Theorie des Algorithmenentwurfs selbst voranzutreiben. Durch die Entwicklung der Mikroelektronik ist ein neuer Aspekt hinzugekommen. Viele komplizierte Prozesse können durch Mikroprozessoren gesteuert werden.
Die Steuerungsvorschriften sind aber Algorithmen, und diese können (ganz oder partiell) auf Chips materialisiert sein. Das heißt also, daß der Algorithmenentwurf, der noch bis vor wenigen Jahren fast ausschließlich der Herstellung von Software diente, jetzt auch zum Hardwareentwurf wird, weil Algorithmen unmittelbar als Leiterplatten produziert werden können. Damit ist aber klar, daß sich jede noch so geringfügige Verbesserung des Algorithmus gewinnbringend bei seiner Anwendung auszahlt.

2. Was sind effiziente Algorithmen?

Ursprünglich waren es hauptsächlich zwei Kriterien, an denen man die Güte von Algorithmen maß: Rechenzeit und Speicherplatz, die zur Abarbeitung des Algorithmus erforderlich sind. Beide Kriterien sind auch heute noch von Bedeutung, die Zeit etwa bei Echtzeitsteuerungen, der Speicherplatz bei der Frage, ob die Speicherkapazität eines Rechners überhaupt zur Realisierung des Algorithmus ausreicht. Heute, da man bereits über ziemlich schnelle Rechner verfügt, so daß man bei Problemen mit zumutbarer Rechenzeit zunehmend auf Zeitgewinn verzichten kann, tritt als weiteres wichtiges Bewertungskriterium das der Strukturierung (übersichtlicher Aufbau) der Programme hervor. Wie bereits gesagt, ist aber das Kriterium „Rechenzeit" dadurch keineswegs belanglos geworden, was im folgenden illustriert werden soll.
Es ist üblich, die Rechenzeit eines Programms P als Funktion $t_P(n)$ der Länge n der Eingabe auszudrücken. Was unter der Länge der Eingabe verstanden wird, kann durch wenige typische Beispiele verdeutlicht werden. Bei Eingabe zweier k-stelliger ganzer Zahlen, etwa um sie zu multiplizieren, ist $n = 2k$, bei der Multiplikation zweier k-reihiger (0,1)-Matrizen ist $n = 2k^2$, bei der Lösung nichtnumerischer Aufgaben, wo die Eingabe als ein Kodewort geliefert wird, ist n die Zahl der Buchstaben des Kodeworts. (Bemerkung: Da jede algorithmische Aufgabe als Umformung eines Kodeworts aufgefaßt werden kann, enthält das letzte Beispiel eigentlich eine allgemeine Definition des Begriffs „Eingabelänge".) Man sagt als Definition des Symbols $O(f(n))$: Ein Problem ist in der Zeit $O(f(n))$ lösbar, wenn es eine Konstante c und ein Programm P gibt, das dieses Problem mit einer Zeitfunktion $t_P(n) \leq c \cdot f(n)$ löst.

Tafel. Rechenzeiten, die ein Rechner mit 10^6 Operation · s^{-1} für verschiedene Eingabelängen und Programme mit verschiedenen Zeitfunktionen braucht

Zeitfunktion	Eingabelänge 10	20	30	40	50	60
n	0,00001 s	0,00002 s	0,00003 s	0,00004 s	0,00005 s	0,00006 s
n^2	0,0001 s	0,0004 s	0,0009 s	0,0016 s	0,0025 s	0,0036 s
n^3	0,001 s	0,008 s	0,027 s	0,064 s	0,125 s	0,216 s
n^5	0,1 s	3,2 s	24,3 s	1,7 min	5,2 min	13 min
2^n	0,001 s	1 s	17,9 min	12,7 Tage	35,7 Jahre	366 Jahrhunderte
3^n	0,059 s	58 min	6,5 Jahre	3855 Jahrhunderte	$2 \cdot 10^8$ Jahrhunderte	$1{,}3 \cdot 10^{13}$ Jahrhunderte

Die Tafel (aus [4]) zeigt die Rechenzeiten, die ein Rechner mit 10^6 Operationen/s für die Eingabelänge 10, 20, ..., 60 für Programme mit den Zeitfunktionen n, n^2, n^3, n^5, 2^n, 3^n braucht. Man sieht, daß Algorithmen mit exponentieller Zeitfunktion bereits bei ganz bescheidenen Eingabelängen astronomische Rechenzeiten benötigen und damit für praktische Belange vollkommen ausscheiden. Algorithmen, die demgegenüber mit einem geringen oder wenigstens erträglichen Zeit- und Platzbedarf auskommen, nennt man **effizient**. Das Wort Effizienz ist im Deutschen ursprünglich nicht vorhanden, sondern ist aus dem Englischen (efficiency) übernommen worden. Man beachte, daß das Strukturierungskriterium von keiner Bedeutung für die Effizienz ist.
Rechenzeit und Speicherplatz sind zwei spezielle Bewertungsmöglichkeiten für algorithmische Berechnungen. Eine allgemeine Behandlung der hiermit zusammenhängenden Probleme gehört in das Gebiet der Kompliziertheitstheorie, die in [7] systematisch dargestellt ist.

3. Wie gewinnt man gute Algorithmen?

Wenn es hierfür auch kein allgemeines Rezept gibt, kann doch soviel gesagt werden: Ohne eine intensive mathematische Durchdringung des zu lösenden Problems hat man kaum Aussichten, einen guten Algorithmus zu entwickeln. Zur Illustration sind die einzelnen Etappen der Algorithmenerstellung schematisch im Bild 1 dargestellt.
Wenn es auch wünschenswert ist, den Mathematiker von Anfang an an der Problembehandlung zu beteiligen, so wird er doch hauptsächlich für die Etappen 2, 3 und 4 gebraucht, und die Qualität seiner Arbeit, insbesondere in den Etappen 3 und 4, ist ausschlaggebend dafür, ob schließlich ein guter Algorithmus entworfen wird. In der 3. Etappe kommt es darauf an, vorhandene Theorien auf Anwendbarkeit zu überprüfen und gegebenenfalls neue mathematische Zusammenhänge zu finden. Allgemeine Strategien können hier nicht existieren. Aber für die 4. Etappe gibt es eine Reihe von Entwurfsprinzipien, die auf naheliegende Heuristiken zurückgehen und die gute Dienste beim Algorithmenentwurf leisten.

---

[1]) Prof. Dr. sc. nat. *Gerd Wechsung* (44) studierte von 1957 bis 1962 Mathematik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. 1966 Promotion A über logarithmische Integrale (Funktionentheorie). 1974 Promotion B zur „Theorie der subrekursiven Berechenbarkeit" an der Humboldt-Universität zu Berlin. Seit 1970 Dozent und seit 1980 Professor für Mathematische Kybernetik und Rechentechnik an der Friedrich-Schiller-Universität Jena.

[2]) Der Autor dankt Herrn Dr.-Ing. *G. Meister* für wertvolle Hinweise zur Manuskriptgestaltung.

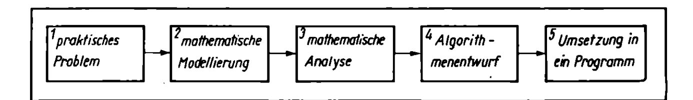


Bild 1. Etappen der Algorithmenerstellung

Es sei auch darauf hingewiesen, daß manchmal sehr klug ausgedachte mathematische Effekte, die zu Zeiteinsparung führen, mitunter bei der Programmgestaltung so großen Organisationsaufwand erfordern, daß der theoretisch nachgewiesene Zeitgewinn bei der Implementierung nicht erreicht werden kann. Als Beispiel sei die Multiplikation zweier Binärzahlen in $0(n \log n \times \log \log n)$ Schritten (vgl. Abschn. 2.) nach *Strassen/Schönhage* genannt [2]. Es kommt auch vor, daß die auf verbesserten Algorithmen beruhenden Programme numerisch nicht stabil sind. Beispielsweise kann die Matrixmultiplikation in $0(n^{2.49})$ statt in $0(n^3)$ Schritten ausgeführt werden [3]. Die numerische Stabilität der schnelleren Algorithmen ist jedoch problematisch.
Im folgenden sollen einige dieser Prinzipien in bescheidener Auswahl vorgestellt werden. Eine sehr gute Darstellung erfährt dieses Gebiet in [1] und eine noch ausführlichere in [5]. Im weiteren wird als Beispiel eines brauchbaren Prinzips zum Entwurf von effizienten Algorithmen die Methode „Teile und herrsche" erläutert. Als Entwurfsprinzipien für Algorithmen zur Lösung von Optimierungsproblemen werden die Greedy-Methode und die Methode der dynamischen Optimierung diskutiert. Die letztere liefert nicht in jedem Fall effiziente Algorithmen. Welche Auswege hier zur Verfügung stehen, wird im letzten Abschnitt kurz angedeutet.

4. Teile und herrsche

Diese Methode besteht darin, ein gegebenes Problem in Teilprobleme (etwa in 2 Teilprobleme) zu zerlegen, diese (i. allg. einfacheren) Teilprobleme zu lösen und die Einzellösungen geeignet zu einer Gesamtlösung zu kombinieren. Vorteilhaft wird das dann, wenn die Einzelprobleme wieder mit dem ursprünglichen Problem, jedoch mit kleineren Eingaben, übereinstimmen. Denn dann wird man zu einem sogenannten rekursiven Algorithmus geführt, d. h. zu einem Algorithmus, der sich immer wieder (mit stets kleiner werdenden Eingaben) selbst aufrufen muß.
Im folgenden sei dieses Prinzip zunächst durch ein ganz einfaches Beispiel illustriert und danach noch kurz auf das anwendungsfähigere Beispiel der schnellen diskreten Fourier-Transformation eingegangen. Es sei darauf hingewiesen, daß dieses Prinzip außerordentlich allgemein ist und die unterschiedlichsten Anwendungen gestattet, was durch die beiden Beispiele nicht im entferntesten deutlich werden kann.

Beispiel 1: Multiplikation zweier n-stelliger Binärzahlen. Es sei $M(n)$ die Zahl der Bitoperationen (d. h. die Zahl der Multiplikationen und Additionen von je zwei Binärziffern 0 oder 1), die zur Multiplikation zweier n-stelliger Binärzahlen erforderlich ist. Bei der aus der Schule bekannten Methode braucht man offensichtlich $0(n^2)$ Bitoperationen. Ihre Zahl verringert sich bei folgendem Verfahren. Zunächst sei n als Zweierpotenz vorgegeben, etwa $n = 2^k$. Die beiden Faktoren stellt man in der Form $A = a \cdot 2^{n/2} + b$ und $B = c \cdot 2^{n/2} + d$ dar, wobei a, b, c, d $n/2$stellige Binärzahlen sind. Als Produkt ergibt sich

$$A \cdot B = ac \cdot 2^n + (ad + bc) \cdot 2^{n/2} + bd\,. \tag{1}$$

Um dieses Produkt zu berechnen, braucht man vier Multiplikationen von $n/2$stelligen Binärzahlen.
Nun ist

$$(a + b)\,(c + d) = ac + bd + (ad + bc)\,. \tag{2}$$

Die für (1) benötigten Größen ac, bd, $ad + bc$ kann man also durch drei Multiplikationen von $n/2$stelligen Zahlen erreichen, nämlich ac, bd und $(a + b)\ (c + d)$. Die gewünschte Größe $ad + bc$ kann aus diesen nach (2) linear kombiniert werden:

$$ad + bc = (a + b) \cdot (c + d) - ac - bd\,.$$

Zur Berechnung dieser drei Produkte wendet man erneut das für $A \cdot B$ beschriebene Verfahren an (Rekursivität des Algorithmus). Um die rechte Seite von (1) auszurechnen, braucht man außer den drei genannten Multiplikationen einen Additionsaufwand von höchstens $\alpha \cdot n$ Bitoperationen mit einem leicht angebbaren α.
Dies bedeutet aber

$$M(n) = 3 \cdot M\left(\frac{n}{2}\right) + \alpha n\,. \tag{3}$$

Da $n = 2^k$ gewählt war, heißt dies

$$M(2^k) = 3 \cdot M(2^{k-1}) + \alpha \cdot 2^k\,. \tag{4}$$

Ersetzt man k durch $k - 1$, so entsteht

$$M(2^{k-1}) = 3 \cdot M(2^{k-2}) + \alpha \cdot 2^{k-1}\,.$$

Setzt man dies in die vorige Gleichung ein, so erhält man

$$M(2^k) = 3^2 \cdot M(2^{k-2}) + \alpha(3 \cdot 2^{k-1} + 2^k)\,.$$

Fährt man in dieser Weise fort, so ergibt sich

$$M(2^k) = 3^k \cdot M(1) + \alpha(3^{k-1} \cdot 2 + 3^{k-2} \cdot 2^2 + \dots + 2^k)$$

und wegen $k = \log n$ (Logarithmus zur Basis 2) und $M(1) = 1$

$$= n^{\log 3} + \alpha \cdot n(1 + \tfrac{3}{2} + \dots + (\tfrac{3}{2})^{k-1})$$

$$= n^{\log 3} + \alpha \cdot n \cdot \frac{(\frac{3}{2})^k - 1}{\frac{1}{2}}$$

$$\leqq n^{\log 3} + 2\alpha n \cdot \frac{3^k}{2^k} = n^{\log 3} + 2\alpha n^{\log 3} = 0(n^{\log 3})$$

$$\leqq 0(n^{1,6})\,.$$

Ist n keine Zweierpotenz, so läßt sich ohne weiteres ebenfalls

$$M(n) = 0(n^{1,6})$$

bestätigen. Es sei nämlich $2^{k-1} \leqq n < 2^k$. Man ergänzt nun die beiden Faktoren durch führende Nullen auf die Länge 2^k, wodurch ja die Faktoren ihren Wert nicht ändern, und erhält

$$M(n) \leqq M(2^k) \leqq c \cdot (2^k)^{1,6} \leqq c \cdot (2n)^{1,6} = 0(n^{1,6})\,.$$

Das ist eine wesentliche Verbesserung der Schulmethode.
Wesentlich für die Methode war die Aufspaltung der Faktoren, die in (1) vorgenommen wurde und die die Multiplikation n-stelliger Faktoren auf die Multiplikation $n/2$stelligerFaktoren zurückführt. Ohne die Beobachtung (2), die zeigt, daß drei solche Multiplikationen ausreichen, hätte dies allerdings nichts genützt. Die Rekursivität des Algorithmus spiegelt sich wider in der Rekursionsformel (3) bzw. (4).

Beispiel 2: Die schnelle Fourier-Transformation
Ein Polynom $p(x) = a_0 + a_1 x + \dots + a_{n-1} x^{n-1}$ ist durch die n Koeffizienten $a_0, \dots, a_{n-1}$ eindeutig bestimmt. Es läßt sich ebenso durch seine Werte $y_0, \dots, y_{n-1}$ an n Stellen, etwa $x_0, \dots, x_{n-1}$, festlegen. Ob ein Polynom durch Koeffizienten oder durch Werte darzustellen ist, ist vom jeweiligen Problem abhängig. Die Multiplikation von Polynomen beispielsweise ist leichter, wenn die Polynome durch Werte und nicht durch Koeffizienten dargestellt sind. Wichtig ist jedenfalls die Möglichkeit, von der einen zur anderen Darstellung umrechnen zu können.
Die Verhältnisse gestalten sich besonders übersichtlich, wenn man $\omega = e^{2\pi i/n}$ und $x_j = \omega^j \quad (j = 0, \dots, n - 1)$ setzt.

Dann ist

$$y_i = \sum_{j=0}^{n-1} a_j \omega^{ij}\,. \tag{5}$$

Diese lineare Transformation heißt die diskrete Fourier-Transformation und werde mit F_ω bezeichnet. F_ω leistet eine Abbildung, die dem Koeffizientenvektor $\boldsymbol{a} = (a_0, \dots, a_{n-1})$ den Vektor $\boldsymbol{y} = (y_0, \dots, y_{n-1})$ der Werte des Polynoms an den Stellen $\omega^0, \omega^1, \omega^2, \dots, \omega^{n-1}$ zuordnet:

$$\boldsymbol{y} = F_\omega(\boldsymbol{a})\,.$$

Man prüft leicht nach, daß die Umkehrabbildung ebenfalls eine diskrete Fourier-Transformation ist. Es gilt nämlich $\boldsymbol{a} = \frac{1}{n} F_{\omega^{-1}} \cdot (\boldsymbol{y})$. Damit ist aber die bekannte Interpolationsaufgabe, aus den Werten eines Polynoms dessen Koeffizienten zu berechnen, durch eine diskrete Fourier-Transformation gelöst.

Es sei $T(n)$ die Zahl der Additionen und Multiplikationen, die zur Berechnung von F_ω (d. h. für Polynome $(n - 1)$-ten Grades) benötigt werden. Verfährt man einfach nach (5), so kommt man auf $T(n) = 0(n^2)$. Durch „Teile und herrsche" kommt man aber auf $T(n) = 0(n \log n)$. „Teile und herrsche" wird möglich durch die folgende Zerlegung von p:

$$p(x) = (a_0 + a_2 x^2 + a_4 \cdot x^4 + \dots) + (a_1 x + a_3 x^3 + {} + a_5 x^5 + \dots) = f(x^2) + x \cdot g(x^2)\,,$$

wobei nun f und g Polynome von einem Grad $\leqq (n - 1)/2$ sind.

Wieder sei zunächst n eine Zweierpotenz. Wegen $\omega^{n/2} = -1$ ergibt sich

$$(\omega^{(n/2)+j})^2 = \omega^{2j} \quad \text{für} \quad j = 0, \dots, \frac{n}{2} - 1 .$$

Damit erhält man

$$\left.\begin{aligned} p(\omega^j) &= f(\omega^{2j}) + \omega^j g(\omega^{2j}) \\ p(\omega^{j+(n/2)}) &= f(\omega^{2j}) - \omega^j g(\omega^{2j}) \end{aligned}\right\} \quad j = 0, \dots, \frac{n}{2} - 1 . \quad (6)$$

Die Aufgabe, $p(\omega^0)$, $p(\omega^1)$, $p(\omega^2)$, ..., $p(\omega^{n-1})$ zu berechnen (d. h. die Fourier-Transformation auszuführen), reduziert sich also darauf, die Polynome f und g an den $n/2$ Stellen ω^0, ω^2, ..., ω^{n-2} auszuwerten, wobei die Grade von f und g nur noch halb so groß sind wie der Grad von p. Mit anderen Worten:
Die Fourier-Transformation $F_\omega((a_0, a_1, \dots, a_{n-1}))$ läßt sich zurückführen auf die beiden Fourier-Transformationen $F_{\omega^2}((a_0, a_2, \dots, a_{n-2}))$ und $F_{\omega^2}((a_1, a_3, \dots, a_{n-1}))$. Damit folgt aus (6)

$$T(n) = 2 \cdot T\left(\frac{n}{2}\right) + c \cdot n , \quad (7)$$

wobei $c \cdot n$ den Additionsaufwand in (6) und die Multiplikationen $\omega^j \cdot g(\omega^{2j})$ erfaßt. Ähnlich wie in Beispiel 1 folgt aus (7)

$$T(n) = 0(n \log n) \quad (8)$$

(und zwar auch für solche n, die keine Zweierpotenzen sind).
Auf die große Anwendbarkeit der diskreten Fourrie-Transformation wird in [1] und [2] hingewiesen. Einige Konsequenzen seien hier genannt.

1. Die Multiplikation zweier Polynome n-ten Grades ist mit $0(n \log n)$ arithmetischen Operationen (Additionen und Multiplikationen) durchführbar.
2. Dasselbe gilt für die Division von Polynomen mit Rest.
3. Die simultane Auswertung eines Polynoms n-ten Grades an m Stellen ist mit $0(m \log n)$ arithmetischen Operationen möglich.
4. Die Interpolation eines Polynoms an n beliebigen Stellen (nicht notwendig Potenzen einer n-ten Einheitswurzel) ist mit $0(n \log^2 n)$ arithmetischen Operationen möglich.
5. Die Multiplikation zweier n-stelliger Binärzahlen ist mit $0(n \log n \log \log n)$ Bitoperationen möglich (vgl. jedoch Abschn. 3.).

5. Optimierungsprobleme

Die beiden nächsten Methoden sind auf den Entwurf von Algorithmen zur Lösung von Optimierungsproblemen zugeschnitten. Deshalb soll kurz der Begriff „Optimierungsproblem" besprochen werden.
Als Beispiel soll das Mischen geordneter Files (Listen) in einem Rechner betrachtet werden, das wieder in einem geordneten File resultieren soll. Gegeben ist also ein Filesystem, das durch $\{n_1, \dots, n_k\}$ beschrieben werde, wobei n_i die Länge des i-ten Files ist. Gesucht ist eine Mischstrategie für die Menge dieser Files. Eine solche Mischstrategie kann in Form eines Baumes mit k Blättern angegeben werden.
Beispiel: Es liege das Filesystem {20, 30, 40, 60} vor. Eine mögliche Mischstrategie ist im Bild 2 dargestellt.
Man mischt erst File 1 und File 2, erhält einen File 5 der Länge 50, dann mischt man File 3 und File 4, erhält einen File 6 der Länge 100 und mischt anschließend File 5 und File 6.
Insgesamt braucht man dabei 300 Vergleichsschritte. Die Etappen dieses Mischvorgangs sind im Bild 3 dargestellt.
Eine andere Mischstrategie wäre durch den Baum im Bild 4 gegeben. Ihre Realisierung erfordert 350 Vergleichsschritte. Mit jeder Mischstrategie ist die Zahl der von ihr benötigten Vergleichsschritte verbunden. Selbstverständlich sucht man in der Praxis schnellste Mischstrategien für gegebene Filesysteme. Darin besteht das zum Mischungsproblem „misch" gehörige Optimierungsproblem „min misch".
Durch Abstraktion von diesem Beispiel erhält man folgende allgemeine Begriffsbildung. Unter einem Problem „prob" versteht man eine Teilmenge **prob** $\subseteq$ **INPUT** $\times$ **SOL**, wobei **INPUT** eine Menge sogenannter **Eingaben** ist (im Beispiel ist **INPUT** die Menge der endlichen Filesysteme), und **SOL** eine Menge von **Lösungen** ist (im Beispiel ist **SOL** die Menge der Mischstrategien). $(x, y) \in$ **prob** wird interpretiert als „y ist eine Lösung für die Eingabe x" (im Beispiel: y ist eine Mischstrategie für das Filesystem x). Das Mischproblem könnte so beschrieben werden:

misch = $\{(x, y)$: x ist ein Filesystem, und y ist eine zugehörige Mischstrategie$\}$.

Gegeben sei ferner eine Bewertungsfunktion b, die jeder Lösung y einen Wert zuordnet (im Beispiel die Zahl der Vergleichsschritte, die die Mischstrategie y erfordert.) Es sei angenommen, daß eine Lösung um so erstrebenswerter ist, je kleiner ihr Wert ist (Minimierungsproblem).
Setzt man $b^*(x) = \min \{b(y)$: y ist Lösung von $x\}$, so ist $b^*(x)$ der beste Wert, den eine Lösung für x überhaupt erreichen kann. Damit definiert man

min prob = $\{(x, y) : (x, y) \in$ **prob** und $b(x, y) = b^*(x)\}$.

min prob enthält also nur Paare (x, y), wo y **minimale** Lösung von x ist. Das zu **prob** gehörige Minimierungsproblem **min prob** stellt sich dann als folgendes **Suchproblem** dar: Zu gegebenem $x \in$ **INPUT** ist $y \in$ **SOL** zu finden mit $(x, y) \in$ **min prob.**
In analoger Weise werden Maximierungsprobleme definiert.

6. Greedy-Methode

Will man die Greedy-Methode zur Lösung eines Minimierungsproblems anwenden, so konstruiert man die Lösung schrittweise und versucht dabei, in jedem Schritt möglichst wenig zum Wert der angestrebten Lösung beizutragen. Man könnte von einer Methode des kleinsten Zuwachses sprechen. Das Wort „greedy" (engl.) bedeutet „gierig, gefräßig" und wird verständlich, wenn man an Maximierungsprobleme denkt, wo in jedem Konstruktionsschritt ein möglichst großer Wertzuwachs gesichert werden muß.
Die Anwendung der Greedy-Methode auf das Problem der optimalen Filemischung führt unmittelbar zu folgendem Algorithmus.
(8) Man mische stets die kleinsten vorhandenen Files.
Behauptung: Dieser Algorithmus liefert wirklich minimale Lösungen.
Beweis: (Vollständige Induktion über k)
Für $k = 1$ ist nichts zu zeigen.
Induktionsannahme: Für Filesysteme $\{n_1, \dots, n_{k+1}\}$ lieferte der Algorithmus (8) minimale Mischstrategien.
Induktionsschluß: Es sei das Filesystem $\{n_1, \dots n_{k+1}\}$ gegeben mit $n_1 \leqq n_2 \leqq n_i$ für alle $i = 3, \dots, k + 1$.
Dann versteht man unter T den Baum (Mischstrategie), der im Bild 5a dargestellt ist, wobei T' ein optimaler Baum für $\{n_1 + n_2, n_3, \dots, n_{k+1}\}$ ist, was nach Induktionsannahme mit (8) erreicht werden kann. Insgesamt ist damit T nach der Greedy-Methode konstruiert. Bezeichnet $b(S)$ die Zahl der Vergleichsschritte der Mischstrategie S, so gilt offenbar

$$b(T) = n_1 + n_2 + b(T') . \quad (9)$$

Nun sei T'' eine minimale Mischstrategie für $\{n_1, \dots, n_{k+1}\}$, d. h. insbesondere $b(T'') \leqq b(T)$. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit kann man annehmen, daß n_1 und n_2 Nachfolger ein und desselben Knotens von T'' sind. T'' hat dann die Form, die im Bild 5b angegeben ist. Dabei ist

$$b(T'') = n_1 + n_2 + b(T''') . \quad (10)$$

T''' ist seinerseits eine Mischstrategie für $\{n_1 + n_2, n_3, \dots, n_{k+1}\}$ und muß, da T' dafür minimal ist, der Beziehung

$$b(T') \leqq b(T''') \quad (11)$$

genügen. Wäre nun T nicht minimal, so wäre $b(T'') < b(T)$ und damit nach (9) und (10) $b(T''') < b(T')$, was (11) widerspricht. Also muß T minimal sein.

Bild 2. Eine Mischstrategie für {20, 30, 40, 60}

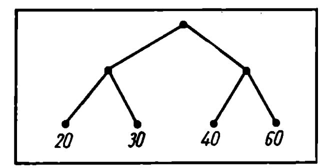


Bild 3. Etappen eines Mischvorgangs

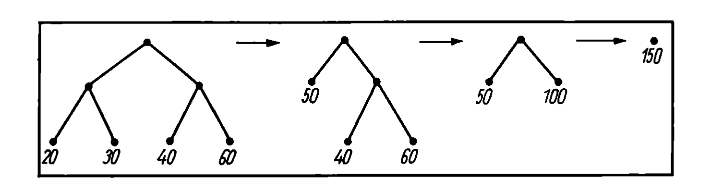
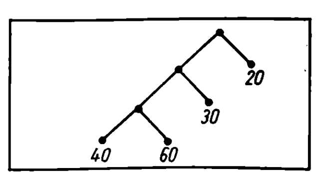


Bild 4. Mischstrategie für {20, 30, 40, 60}



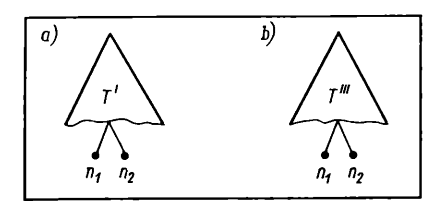


Bild 5. Darstellung von T, T' und T'''

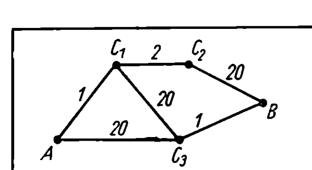


Bild 6. Zur Ver tlichung der Greedy-Methode

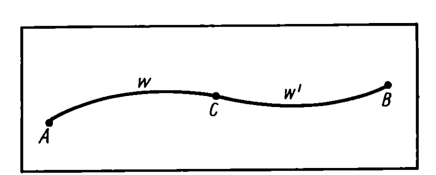


Bild 7. Zum Optimalitätsprinzip beim Problem „Kürzester Weg"

7. Dynamische Optimierung

Die Greedy-Methode beruht darauf, daß in jedem Schritt lokale Entscheidungen getroffen werden. Würde man sie anwenden, um in einem gegebenen Graphen mit bewerteten Kanten einen kürzesten Weg von einem Knoten A zu einem Knoten B zu bestimmen, so erhielte man im allgemeinen keinen kürzesten Weg. Im Bild 6 würde beispielsweise der Weg AC_1C_2B gefunden, während AC_3B der kürzeste Weg von A nach B ist.
In solchen Fällen kann man versuchen, das Prinzip der dynamischen Optimierung anzuwenden. Das ist möglich, wenn das Problem so beschaffen ist, daß das folgende Optimalitätsprinzip erfüllt ist.

Optimalitätsprinzip: Ist eine optimale Lösung zerlegbar in zwei Lösungen zweier Teilprobleme, so sind diese Teillösungen optimale Lösungen der Teilprobleme.
Beispiel: Ist v ein kürzester Weg in einem Graphen von A nach B, der über C verläuft, so ist der erste Teil w dieses Weges, der von A nach C führt, ein kürzester Weg von A nach C, und das Reststück w' ist ein kürzester Weg von C nach B (Bild 7). Andernfalls könnte der Gesamtweg v doch noch verkürzt werden und wäre nicht ein kürzester Weg von A nach B.
Ist nun für ein Optimierungsproblem das Optimalitätsprinzip erfüllt, so erlaubt dieses das Aufschreiben von Rekursionsgleichungen, anhand derer die optimalen Lösungen gefunden werden können. Darin besteht die Methode der dynamischen Optimierung. Zur Verdeutlichung sei das Beispiel des Rundreiseproblems betrachtet. Gegeben ist ein Graph mit n Knoten $\{1, \dots, n\}$ derart, daß je zwei Knoten durch eine Kante verbunden sind. Die Kante von i nach j sei mit c_{ij} bewertet $(i, j = 1, \dots, n)$. c_{ij} wird als „Abstand" zwischen i und j interpretiert, obwohl nicht ausdrücklich gefordert wird, daß der gegebene Graph in einen metrischen Raum eingebettet werden kann, so daß dies im allgemeinen auch nicht vorausgesetzt werden kann. Gesucht ist ein kürzester geschlossener Weg durch den Graphen, der jeden Knoten berührt (Rundreise).
Es sei $\boldsymbol{S} \subseteq \{1, \dots, n\}$ eine beliebige Teilmenge von Knoten dieses Graphen, und $g(i, \boldsymbol{S})$ sei die Länge eines kürzesten von i nach 1 führenden Weges, der alle Knoten von $\boldsymbol{S}$ berührt. Dann gilt nach dem Optimalitätsprinzip

$$g(i, \boldsymbol{S}) = \min_{j \in \boldsymbol{S}} (c_{ij} + g(j, \boldsymbol{S} \setminus \{j\})) \tag{12}$$

und

$$g(i, \emptyset) = c_{i1} \,. \tag{13}$$

$\boldsymbol{S} \setminus \{j\}$ ist diejenige Menge, die sich aus $\boldsymbol{S}$ ergibt, wenn j entfernt wird.
Beispiel: Ist $\boldsymbol{S} = \{1, 2, 3\}$ und $j = 2$, so ist $\boldsymbol{S} \setminus \{j\} = \{1, 3\}$. Hieraus läßt sich $g(1, \{2, 3, \dots, n\})$ und damit auch ein kürzester geschlossener Weg rekursiv bestimmen.

8. Approximative Lösungen

Es ist leicht einzusehen, daß die Auflösung der Rekursionsgleichungen (12) und (13) $n^2 \cdot 2^n$ Schritte kosten kann. Wie die Tafel zeigt, ist diese Rechenzeit vollkommen unbefriedigend. Wie kann man zu schnelleren Algorithmen kommen? Die überraschende Antwort auf diese Frage lautet: Man kann das Rundreiseproblem höchstwahrscheinlich überhaupt nicht mit polynomialer Rechenzeit lösen.
Diese Antwort ergibt sich aus theoretischen Erwägungen [4] und ist, wie schon das Wort „höchstwahrscheinlich" erkennen läßt, eine Hypothese. Eine Hypothese freilich, die allgemein akzeptiert ist. Sie besagt, daß **nichtdeterministische** Algorithmen (solche Algorithmen, in denen Rateschritte erlaubt sind), die in polynomialer Zeit arbeiten, i. allg. nicht in deterministische Algorithmen, die in polynomialer Zeit arbeiten, umgeformt werden können. Eine Umformung ist zwar immer möglich, führt aber nach heutigem Wissen stets zu exponentieller Zeit.
In der Literatur [1] [4] [5] und [7] heißt ein Problem NP-schwierig, wenn es in einem gewissen Sinne ein schwierigstes Problem ist, das in polynomialer Zeit mit nichtdeterministischen Algorithmen gelöst werden kann. Nun gilt:

Satz: Eine Umformung von polynomialen nichtdeterministischen Algorithmen in polynomiale deterministische Algorithmen ist genau dann möglich, wenn dies für ein beliebiges NP-schwieriges Problem möglich ist.
Aufgrund dieses Satzes läßt sich die obige Hypothese so formulieren: NP-schwierige Probleme lassen sich höchstwahrscheinlich nicht in polynomialer Zeit lösen.
Die zu Beginn dieses Abschnitts genannte Aussage ergibt sich nun aus dem

Satz: Das Rundreiseproblem ist NP-schwierig.

Das gleiche trifft auf eine ganze Reihe weiterer für die Praxis äußerst wichtiger kombinatorischer Probleme zu. Deshalb müssen irgendwelche Auswege gefunden werden.

1. Ausweg: Man versuche, die Probleme angenähert zu lösen.
2. Ausweg: Man verzichte auf Sicherheit durch Einbeziehung stochastischer Elemente in die Algorithmen.

Beide Auswege sind in [4] [5] und [7] zusammen mit weiteren Varianten ausführlicher beschrieben. Eine Vorstellung dieses an sich sehr wichtigen Problemkreises würde den Rahmen dieses Beitrags überschreiten. Zur Abrundung der hier behandelten Problematik sei lediglich noch einiges von dem mitgeteilt, was über das Rundreiseproblem unter o. g. Aspekt gesagt werden kann.
Allgemein führt die Frage nach der angenäherten Lösung eines Problems **min prob** zu einem neuen Problem **Min prob**$_k$, nämlich zu folgendem Suchproblem:
Zu gegebenem x suche man y mit

$$(x, y) \in \textbf{prob} \text{ und } |b^*(x) - b(y)| \leqq k \cdot b^*(x) \,.$$

Man gibt sich also jetzt mit Lösungen y zufrieden, deren Wert $b(y)$ vom Optimalwert $b^*(x)$ um das k-fache dieses Optimalwerts abweichen dürfen. Je größer k gewählt wird, um so größer wird die Chance für eine einfache Berechnung einer Lösung, deren Wert um das k-fache vom Optimum abweicht, um so weniger brauchbar wird allerdings auch eine solche Lösung.
Nun sei zunächst gesagt, daß für viele NP-schwierige Probleme brauchbare polynominale Approximationen existieren. Um so überraschender ist dann aber der folgende Satz.

Satz: Min Rundreise$_k$ ist für jede natürliche Zahl k NP-schwierig.

Ist jedoch das Problem auf metrische Räume beschränkt, so läßt sich in polynomialer Zeit stets eine solche Rundreise finden, die um höchstens 100% (!) vom Optimum abweicht.

Literatur

[1] *Aho, A.; Hopcroft, J. E.; Ullman, J. D.*: The Design and Analysis of Computer Algorithms. Reading/Mass.: Addison-Wesley 1974.
[2] *Borodin, A.; Munro, J.*: Computational Complexity of Algebraic and Numeric Problems. New York: American Elsevier 1975.
[3] *Coppersmith, D.; Winograd, S.*: On the asymptotic complexity of matrix multiplication. Extended summary. Proc. 22. Symp. on Found. of Computer Science, Nashville/Tennessee. Oct. 1981.
[4] *Garey, M. R.; Johnson, D. S.*: Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness. San Francisco: Freeman 1978.
[5] *Horowitz, E.; Sahni, S.*: Fundamentals of Computer Algorithms. Computer Science Press, INC., 1978.
[6] *Kriesel, W.*: Überwindung der Gründe für die Kluft Theorie — Praxis in der Automatisierungstechnik. msr, Berlin 25 (1982) 4, S. 182—184.
[7] *Wagner, K.; Wechsung, G.*: Computational Complexity. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1983.

msr 7880

W. W. Solodownikow[1])

Das Prinzip der Kompliziertheit in der modernen Steuerungstheorie

0. Einleitung

Die Lösung jeder Entwurfsaufgabe, die Konstruktion irgendeiner Maschine oder die Schaffung eines anderen technischen Systems erfordern stets einen geistreichen Kompromiß zwischen der Qualität und der Kompliziertheit, der die Erreichung des Entwurfszieles mit Hilfe möglichst einfacher Mittel gewährleistet. Qualität und Kompliziertheit des Entwurfsobjektes sind einander gewöhnlich in dem Sinne entgegengerichtet, daß die Qualität hoch und die Kompliziertheit gering sein soll.

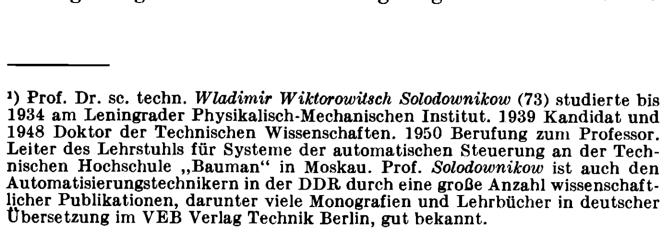
In der Automatisierungstechnik wurde bisher die Frage der Erreichung eines vernünftigen Kompromisses zwischen der Qualität und der Kompliziertheit nicht sehr scharf gestellt; wegen der zunehmenden Kompliziertheit von Steuerrungssystemen gewinnt die Lösung dieser Aufgaben jedoch an Bedeutung und wird zugleich immer schwerer.

Gegenwärtig sind diese Probleme sehr aktuell im Zusammenhang mit der Entwicklung von Anlagen zur automatisierten Projektierung von Steuerungssystemen mit Hilfe von Digitalrechnern. Diese Anlagen zur automatisierten Projektierung sind selbst — wie auch die zu projektierenden Steuerungen — Systeme mit Rückführungen (Bild 1).

Die Anlagen zur automatisierten Projektierung sind demzufolge automatisierte Steuerungssysteme. Der damit in Verbindung stehende technologische Prozeß dient der Herstellung technischer Dokumentationen.

Aus diesem Grunde muß die Entwicklung der Theorie der Automatisierungsanlagen gleichzeitig die Entwicklung der theoretischen Grundlagen für die automatische Projektierung beinhalten, sie muß die Methoden und Mittel zur Lösung der Hauptschwierigkeit des Projektierungsprozesses bereitstellen, die im Konflikt zwischen Qualität und Kompliziertheit besteht. Dazu ist es erforderlich, daß die Steuerungstheorie die Formulierung einer „technisch" korrekten Aufgabenstellung ermöglicht sowie Lösungsmethoden anbietet, die nicht nur die traditionellen Forderungen an die Stabilität, die Qualität und die Genauigkeit berücksichtigen, sondern auch die Kompliziertheit ihrer technischen Realisierung in Rechnung setzen. Außerdem müssen diese Aufgaben auch „mathematisch" korrekt gestellt sein: Sie müssen die Stabilität der auf Digitalrechnern implementierten numerischen Prozeduren gewährleisten. Ein perspektivreiches Mittel zur Formulierung und Lösung „technisch" und „mathematisch" korrekt gestellter Aufgaben ist die Theorie der Kompliziertheit.

Nachstehend werden wichtige Begriffe und Prinzipien der Theorie der Kompliziertheit erörtert und ihre Anwendung zur Lösung einiger aktueller Steuerungsaufgaben illustriert. Die vorgestellten Ergebnisse wurden unter Leitung des Autors von einem Wissenschaftlerkollektiv ausgearbeitet, dem u. a. *V. L. Lenski*; *V. F. Birjukow* und *V. I. Tumarkin* angehörten.


[1]) Prof. Dr. sc. techn. *Wladimir Wiktorowitsch Solodownikow* (73) studierte bis 1934 am Leningrader Physikalisch-Mechanischen Institut. 1939 Kandidat und 1948 Doktor der Technischen Wissenschaften. 1950 Berufung zum Professor. Leiter des Lehrstuhls für Systeme der automatischen Steuerung an der Technischen Hochschule „Bauman" in Moskau. Prof. *Solodownikow* ist auch den Automatisierungstechnikern in der DDR durch eine große Anzahl wissenschaftlicher Publikationen, darunter viele Monografien und Lehrbücher in deutscher Übersetzung im VEB Verlag Technik Berlin, gut bekannt.

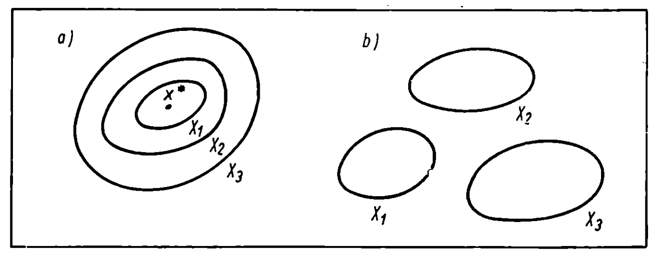


Bild 2. Anordnung von Operator-Teilmengen für die Definition einer Kompliziertheitsskala

a) ersten Typs; b) zweiten Typs

1. Zur Frage der Definition des Begriffs der Kompliziertheit

Die ersten Versuche, die Kompliziertheit beim Entwurf automatischer Regelungssysteme (ARS) zu berücksichtigen, wurden vom Autor am Anfang der fünfziger Jahre bei der Ausarbeitung einer speziellen Frequenzmethode zur Synthese von Korrektureinrichtungen gemacht [1]. Als Maß der Kompliziertheit wurde dabei die Ordnung des Zählers und des Nenners der Übertragungsfunktion der zu entwerfenden ARS angenommen.

Eine allgemeine Definition des Begriffs der Kompliziertheit hängt mit der Breite einer Klasse, innerhalb der eine Aufgabe gelöst wird, sowie mit der Festlegung einer Kompliziertheitsskala zusammen [2].

Dabei wird eine Menge bzw. eine Klasse X von Operatoren x, die dieser Klasse X angehören, betrachtet: $x \in X$.

Es sei weiter eine Menge X_1 als Untermenge von X_2 vorausgesetzt: $X_1 \subset X_2$ (Bild 2a).

Sofern sich der maximale Wert der Operatorfunktion bei Ausdehnung ihres Definitionsbereiches nicht verringert, gilt: Je breiter die Klasse ist, um so größer sind die minimalen Kosten $C_\varepsilon(X)$, die Ausfallwahrscheinlichkeit $R_\varepsilon(X)$ und die Anzahl $N_\varepsilon(X)$ der Operationen.

Dabei ist ε eine zulässige Genauigkeitsschranke der Realisierung.

2. Skala der Kompliziertheit

Entsprechend der Anordnung der Teilmengen X_1 und X_2 werden zwei Skalen der Kompliziertheit definiert.

Als Kompliziertheitsskala ersten Typs mit Zentrum x^* (Bild 2a) sei das System von Untermengen X_a bezeichnet, das die Bedingungen

1. $\bigcup X_a = X$
2. $\bigcap\limits_a X_a = x^*$
3. $x^* \in \{X_a\}$

befriedigt.

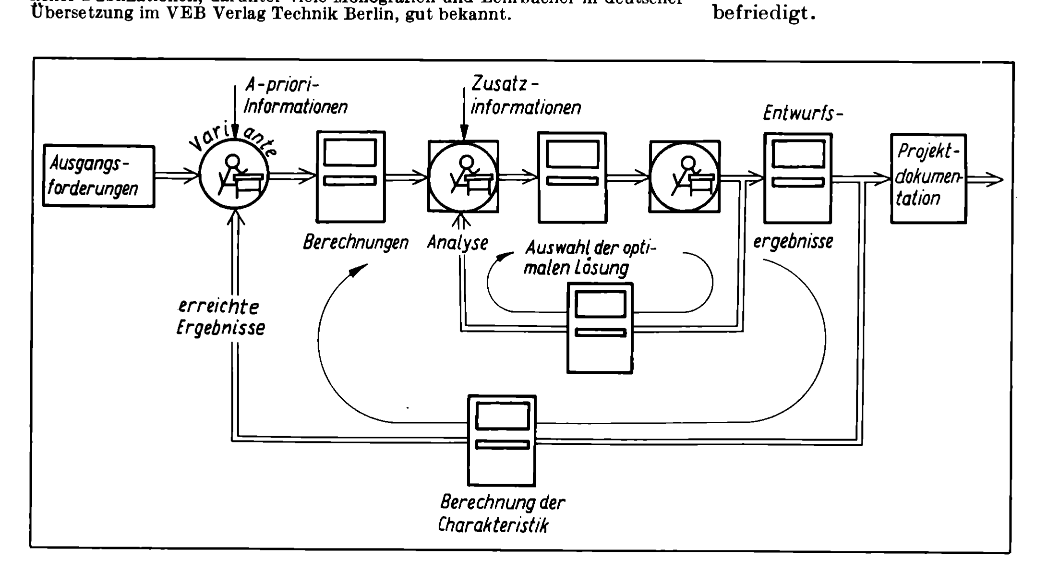


Bild 1. Schema eines automatisierten Projektierungsprozesses

Die Kompliziertheitsskala zweiten Typs wird definiert als ein System sich für alle a gegenseitig nicht überdeckender Mengen $\{\boldsymbol{X}_a\}$ (Bild 2b).
Nach der Festlegung von Kompliziertheisskalen kann man zwei Operatoren $x_2 \in \boldsymbol{X}_2$ und $x_1 \in \boldsymbol{X}_1$ bezüglich ihrer Kompliziertheit vergleichen: Der Operator $x_2 \in \boldsymbol{X}_2$ heißt komplizierter als der Operator $x_1 \in \boldsymbol{X}_1$, wenn für die beiden Teilmengen $\boldsymbol{X}_1$ und $\boldsymbol{X}_2$ gilt: $\boldsymbol{X}_1 \subset \boldsymbol{X}_2$.

3. Das Prinzip der minimalen Kompliziertheit (PmK)

Es seien ein bestimmtes zulässiges Qualitätsniveau δ^* (Bild 3) und eine bestimmte Kompliziertheitsskala vorgegeben.
Wenn die Kompliziertheitsskala in Form eines Funktionals der Kompliziertheit gegeben ist, dann wird das Prinzip der minimalen Kompliziertheit wie folgt formuliert:
Unter allen Operatoren x, die die Gleichung

$$J(x) = \delta^*$$

befriedigen, ist derjenige Operator zu finden, der das Funktional der Kompliziertheit $N(x)$ minimiert, d. h., die Aufgabe führt zu einer Aufgabe mit bedingtem Extremum

$$J^*(x) = N(x) + \lambda J(x) .$$

Ein zum PmK duales Prinzip der begrenzten Kompliziertheit führt zu der Aufgabe, bei geforderter begrenzter Kompliziertheit den Operator zu finden, der das Extremum von $J(x)$ ergibt.

4. Anwendung des Prinzips der minimalen Kompliziertheit in der Theorie der stochastischen Steuerung

Die meisten Aufgaben der stochastischen Steuerungstheorie sind nicht korrekt gestellt, z. B. die Klasse von Aufgaben $L_1(0, T)$, die die Lösung einer Wiener-Hopfschen Integralgleichung erster Art:

$$\int_0^T R(t - \tau)\, K(\tau)\, \mathrm{d}\tau = P(t) \; ; \qquad 0 \leqq t \leqq T$$

erfordern.
In der Lösung dieser Gleichung treten die Delta-Funktion und ihre Ableitungen auf. Dadurch wird die Möglichkeit der Anwendung gewöhnlicher numerischer Methoden zur Lösung der obigen Gleichung ausgeschlossen, und die technische Realisierung ihrer die Delta-Funktionen beinhaltenden Lösung wird erschwert. Wenn man jedoch die Klasse, innerhalb der die Lösung der Aufgabe gesucht wird, durch eine speziellere Klasse $L_2(0, \infty)$ mit Hilfe des Funktionals der Kompliziertheit $N(k)$ einengt und das Prinzip der minimalen Kompliziertheit anwendet, dann erhält man anstelle der Wiener-Hopfschen Gleichung die Fredholmsche Gleichung zweiter Art, in deren Lösung die Delta-Funktionen nicht vorkommen. Damit ist die Lösung mit Hilfe des Digitalrechners realisierbar.
Dieses Beispiel zeigt anschaulich, wie die Einengung einer Klasse zur Verringerung der Kompliziertheit und zur Erhöhung der Effektivität der Lösungsmethode führt.

5. Anwendung des Prinzips der minimalen Kompliziertheit in der Optimierungstheorie der determinierten Steuerungssysteme

Aufgaben der Optimierung von determinierten Steuerungssystemen sind in einer Reihe von Fällen lösbar; die Lösung ist jedoch numerisch nicht stabil, und die Aufgabe selbst ist zu den nicht korrekt gestellten Aufgaben zu zählen.
Bei der Anwendung des Prinzips der minimalen Kompliziertheit sucht man das Extremum in einer Klasse von Funktionen, die bezüglich ihrer Kompliziertheit beschränkt sind, mit Hilfe eines Systems von Mengen $\boldsymbol{M}_\lambda$, die eine Kompliziertheitsskala bilden. Die Menge $\boldsymbol{M}_\lambda$ stellt eine Menge von Steuerungen mit begrenzten Ableitungen dar.

6. Steuerungsobjekte mit verteilten Parametern

Bekanntlich werden Systeme mit verteilten Parametern durch Differentialgleichungen mit partiellen Ableitungen

$$Az(x) = g(x)$$

beschrieben.
Die bekannten Lösungsmethoden für partielle Differentialgleichungen sind oft sehr kompliziert und ergeben langsam konvergierende Resultate, so daß ihre praktische Anwendung erschwert ist.
Die Anwendung des Prinzips der minimalen Kompliziertheit führt zu einer Näherungsmethode der Lösung der obigen Gleichung, die den Anforderungen bezüglich Genauigkeit und Kompliziertheit gerecht wird.

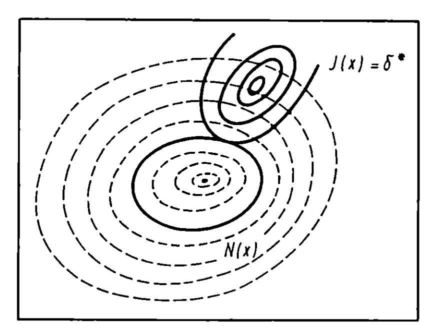


Bild 3. Ableitung des Prinzips der minimalen Kompliziertheit

7. Gemeinsame Synthese des Steuerungsobjektes und des Systems zu seiner Steuerung innerhalb der zulässigen Menge ihrer Charakteristiken

Die Projektierung einer technologischen Anlage als Steuerungsobjekt erfolgt gewöhnlich ohne Berücksichtigung der Eigenschaften des dazugehörigen Steuerungssystems. Das widerspricht im Grunde genommen dem Systemgedanken.
Durch Anwendung des Prinzips der beschränkten Kompliziertheit (PbK) kann dieser Nachteil überwunden werden.
Bei der Ausarbeitung der Synthesemethode sei davon ausgegangen, daß das Gesamtsystem als Gesamtheit bestimmter Subsysteme Σ_i betrachtet werden kann, von denen eines das Steuerungsobjekt ist, und daß die Ein- und Ausgänge des Subsystems bekannt sind.
Es sei $\boldsymbol{x}$ der Operator — z. B. die Impulsantwortfunktion — des Gesamtsystems Σ:

$$\boldsymbol{x} = \boldsymbol{x}(x_1, \dots x_n) ; \qquad \boldsymbol{x} \in \boldsymbol{L}_2 .$$

Angenommen, es seien die Elemente $x_{i0}(t) \in \boldsymbol{L}_2$, die als „Prototypen" der Elemente x_i bezeichnet werden, gegeben. Man nennt das festgelegte Element Prototyp, wenn man es als einen Operator minimaler Kompliziertheit betrachten kann. Es sei weiter angenommen, daß die Elemente x_i aus der abgeschlossenen Menge $\boldsymbol{S}_i$ ausgewählt werden können, so daß gilt:

$$\boldsymbol{S}_i = \{x_i\} \; ; \qquad x_{i0} \in \boldsymbol{S}_i .$$

Das Syntheseproblem führt auf eine Aufgabe mit bedingtem Extremum

$$J(x) = J(x_1, \dots, x_n) = \text{Extr.}$$

mit x_i, die den für sie zulässigen Mengen angehören. Diese Aufgabe kann in eine Aufgabe mit absolutem Extremum

$$J^*(x) = J(x_1, \dots, x_n) + (\lambda, \boldsymbol{N}) = \text{Extr.}$$

überführt werden, wobei $\boldsymbol{N} = (\boldsymbol{N}_i)$ der Vektor des Funktionals der Kompliziertheit für Σ_i ist, dessen Komponenten durch die Bedingungen

$$\boldsymbol{N}_i(x_i) \leqq \boldsymbol{C}_i \; ; \qquad \boldsymbol{C}_i \geqq \boldsymbol{0}$$

festgelegt sind.
Wenn die zulässigen Mengen einfache, geschlossene, z. B. sphärische Gebiete

$$\boldsymbol{S}_i = \{x_i, (x_i - x_{i0}, x_i - x_{i0})\} \leqq \boldsymbol{C}_i$$

darstellen, dann wird der Zusammenhang mit dem Prinzip der Kompliziertheit auf der Grundlage der Hypothese der „Nähe" hergestellt [3].
Die Anwendung der Hypothese der „Nähe" ist zweckmäßig, wenn man den Zusammenhang zwischen dem Funktional der Kompliziertheit und den dynamischen Charakteristiken des Steuerungssystems nicht in analytischer Form ausdrücken kann. In diesem Falle kann man die Hypothese über die analytische Form des Funktionals in der Nähe des fixierten Elements x^* (Hypothese der „Nähe") einführen. Eine der Lösungsmethoden der gestellten Aufgabe besteht in einem iterativen Algorithmus, dessen erster Schritt in der Vorgabe der Anfangsnäherung für die Charakteristika (Prototypen) des Steuerungsobjektes als kompliziertestem Subsystem besteht.
Insbesondere dem Steuerungsobjekt wird eine hohe Priorität zugeordnet, was völlig einleuchtend ist.

8. Das Prinzip der Kompliziertheit und die dynamische Reservehaltung

Die Reservehaltung ist eines der Mittel zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Lebensfähigkeit von Systemen.
Es sei angenommen, daß ein dynamisches System Σ aus n Subsystemen Σ_i besteht und dementsprechend n Reservefunktionsregimes aufweist, von denen jedes das Steuerungsziel des Gesamtsystems Σ erfüllen kann.

Es wird vorausgesetzt, daß zu jedem Zeitpunkt $t \in (0, T)$ das System nur in einem Regime R_i arbeitet.
Die Qualität der Steuerung wird durch das Funktional bewertet

$$J(x) = \sum_{i=1}^{n} \pi_i(P_1, P_2, \dots, P_n)\, E_i(x_i)\,.$$

P_i Wahrscheinlichkeit des Arbeitens des Systems Σ im Regime R_i; E_i Qualität der Steuerung im Regime R_i; $x_i \in \boldsymbol{X}$: Operator des Subsystems Σ_i

Man führt in die Betrachtung zwei Operatoren x und y sowie eine kontinuierliche Kompliziertheitsskala $\boldsymbol{C}_y$ ein, in der y ein Element minimaler Kompliziertheit (Prototyp) ist. Das Funktional der Kompliziertheit $V(x/y)$, das diese Skala erzeugt, kann zur Beurteilung der „Nähe" der Operatoren x_i^* der Subsysteme herangezogen werden. Sie sollten sich wegen der Möglichkeit des Überganges eines Reserveregimes in ein anderes, d. h. zur Verringerung der dabei auftretenden Übergangsprozesse nur wenig voneinander unterscheiden.

Die von diesem Standpunkt aus in dem betrachteten Raum zulässigen Gebiete für das Funktional $V(x/y)$, das auch als Funktional der Unterscheidbarkeit bezeichnet wird, werden durch die Bedingungen bestimmt

$$V(x_i/x_{i+1}) \leqq \alpha_i$$

mit α_i als vorgegebene, natürliche positive Zahl. Die Bedingungen zur Auswahl des n-dimensionalen Vektors $\boldsymbol{x}(x_1, \dots, x_n)$ lauten:

$$J(x) = \sum_{i=1}^{n} \pi_i E_i(x_i) = \text{Extr.}$$

$$V(x_i/x_{i+1}) \leqq \alpha_i\,, \quad i = 1, 2, \dots, n-1$$

und können in der Form

$$J^* = \sum_{i=1}^{n} \pi_i E_i(x_i) + \sum_{i=1}^{n-1} \lambda_i V(x_i/x_{i+1}) = \text{Extr.}$$

zusammengefaßt werden.

Dieses Kriterium der dynamischen Reservehaltung führt — wie man zeigen kann — noch nicht zur korrekten Formulierung der Aufgabe. Um diese Schwierigkeit zu beseitigen, ist es erforderlich, nicht nur die relative Unterscheidbarkeit der Regimes R_i und R_{i+1} zu begrenzen, sondern auch die Kompliziertheit eines beliebigen Subsystems, z. B. Σ_0, das man auch als das Haupt-Subsystem bezeichnen kann.

Als Ergebnis erhält man ein Kriterium der Lebensfähigkeit mit gleichzeitiger Beschränkung der Kompliziertheit des Haupt-Subsystems der Reservehaltung:

$$J^* = \sum_{i=1}^{n} \pi_i E_i(x_i) + \sum_{i=1}^{n} \lambda_i V(x_i/x_{i+1}) + \mu_0 N(x_0) = \text{Extr.}\,,$$

wobei N das Funktional der Kompliziertheit des Subsystems Σ_0 bezeichnet.

Im Falle quadratischer Gütefunktionale und der Befriedigung der Hypothese der Nähe wird durch Anwendung des Prinzips der Kompliziertheit die Aufgabe der Synthese eines Systems der automatischen Steuerung mit dynamischer Reservehaltung auf die Lösung von Integralgleichungen zweiter Art überführt.

9. Die Methode der Regularisierung von Tichonow und das Prinzip der Kompliziertheit

Das Prinzip der minimalen Kompliziertheit ist zur Formulierung von Variationsaufgaben, die beim Entwurf technischer Systeme auftreten, geeignet. Es erfordert die Konstruktion von Funktionalen oder von Kompliziertheitsskalen ausgehend von den Forderungen nicht nur der mathematischen, sondern auch der technischen Korrektheit, wobei seine Verbindung mit den technischen Charakteristika des Systems angestrebt wird.

Bei Anwendung des PmK wird erstens die Lösung nicht in der Menge, auf der das Funktional der Ausgangsaufgabe definiert ist, gesucht, sondern in einer engeren, d. h. weniger komplizierten Menge. Dabei muß die Existenz der Lösung der ursprünglichen Extremalaufgabe und ihre Zugehörigkeit zu der Menge, auf der das Funktional der Kompliziertheit definiert ist, nicht vorausgesetzt werden.

Zweitens erweist sich die Lösung dank der Auswahl des Funktionals der Kompliziertheit und seines Definitionsbereiches als realisierbar, und drittens wird der Parameter λ (Lagrange-Multiplikator) ausgehend von der Forderung, daß das Funktional, das die Qualität des Systems bestimmt, gleich seinem zulässigen Wert sein muß, festgelegt. Diese Festlegung erfolgt jedoch nicht wie bei der Methode der Regularisierung auf der Grundlage der Genauigkeit der Ausgangsdaten, die gewöhnlich nicht bekannt sind.

Zusammenfassung

Die Theorie der Kompliziertheit stellt sich als eine perspektivreiche Richtung der weiteren Entwicklung der Theorie und Praxis des Entwurfes von automatischen und automatisierten Steuerungssystemen mit Hilfe von Digitalrechnern dar. Der in der Arbeit dargelegte Weg wurde anhand nichttraditioneller Aufgaben der Steuerungstheorie illustriert. Die spezielle Zielstellung besteht darin, die Aufmerksamkeit der Forscher und Projektanten verstärkt auf die mathematische Formulierung der Aufgabenstellung und die Ausarbeitung von Lösungsmethoden mit Hilfe von Digitalrechnern zu richten. Das Hauptproblem des Entwurfes ist die Gewährleistung nicht nur der geforderten Qualität des zu schaffenden Steuerungssystems, sondern auch die Erreichung dieses Zieles mit Hilfe einfachster technischer Mittel.

Der Autor möchte Herrn Prof. Dr. sc. techn. *H. Ehrlich* für nützliche Ratschläge und Bemerkungen, die er zur Niederschrift der Arbeit gemacht hat, sowie für die deutsche Bearbeitung seine tiefe Dankbarkeit ausdrücken.

Literatur

[1] *Solodownikow, W. W.:* Synthese von Korrektureinrichtungen für Folgesysteme bei typischen Einwirkungen (in russ.). Avtomatika i Telemechanika (1951) 5, S. 352—388.
[2] *Solodownikow, W. W.; Lenski, W. L.:* Synthese von Steuerungssystemen minimaler Kompliziertheit (in russ.). Izv. AN SSR, Ser. techn. kibernetika (1966) 3, S. 96.
[3] *Solodownikow, W. W.; Birjukow, W. F.: Tumarkin, V. I.:* Das Prinzip der Kompliziertheit in der Steuerungstheorie (in russ.). Moskva: izd. Nauka 1977.
[4] *Tichonow, A. N.:* Zur Lösung nicht korrekt gestellter Aufgaben und der Methode der Regularisierung (in russ.). DAN SSR 1963, T. 151, No. 3.
[5] *Solodownikow, W. W.; Birjukov, V. F.:* Über das Prinzip der Kompliziertheit und die Methode der Regularisierung bei stochastischen Aufgaben der Synthese optimaler automatischer Steuerungssysteme (in russ.). DAN SSR 1973, T. 208, No 3.
[6] *Solodownikow, W. W.; Artemenko, A. I.:* Anwendung des Prinzips der Kompliziertheit zur Regularisierung nicht korrekter Extremalaufgaben (in russ.). DAN SSR 1973, T. 208, No 4.
[7] *Solodownikow, W. W.; Kakičew, L. G.; Koževnikow, A. B.:* Das Prinzip der Kompliziertheit und die Berechnung dynamischer Charakteristiken von Steuerungsobjekten mit verteilten Parametern (in russ.). Izvestija VUZov. Priborostroenie 1977, No 3, S. 29—36.
[8] *Solodownikow, W. W.; Tumarkin, W. I.:* Synthese von automatischen Steuerungssystemen innerhalb zulässiger Mengen (in russ.). Techniceskaja Kibernetika 1980, No. 6, S. 126—135.
[9] *Solodownikow, W. W.; Tumarkin, W. I.:* Ein Prinzip zur Synthese von Systemen der automatischen Steuerung mit dynamischer Reservehaltung (in russ.). DAN SSR 1981, T. 258, No. 2, S. 308—310. msr 7896

D. Berfeld[1])

Bestimmung von Übertragungsfunktionen aus experimentell ermittelten Kreuzkorrelationsfunktionen

0. Einleitung

Zur experimentellen Identifikation von Regelstrecken wird gegenwärtig oft die Korrelationsanalyse angewendet. Die theoretische Grundlage des Verfahrens bildet die Wiener-Hopf-Gleichung, die die Übertragung eines staticnären und ergodischen stochastischen Signals $x(t)$ durch ein lineares System mit der Gewichtsfunktion $g(t)$ beschreibt:

$$R_{xy}(\tau) = \lim_{t \to \infty} \int_0^t R_{xx}(t - \tau)\, g(t)\, dt\,. \qquad (1)$$

$R_{xy}(\tau)$ ist die Kreuzkorrelationsfunktion (KKF) eines Eingangssignals $x(t)$ und eines Ausgangssignals $y(t)$. $R_{xx}(t - \tau)$ ist die um τ verschobene Autokorrelationsfunktion (AKF) des Eingangssignals $x(t)$.

Als Testsignale zur Untersuchung von linearen Systemen haben sich außer dem weißen Rauschen verschiedene Modifikationen von pseudostochastischen Signalen durchgesetzt [1]. Sie sind mathematisch beschreibbar, deshalb ist auch deren AFK be-

---

[1]) Dipl.-Ing. *David Berfeld* (33) erlernte den Beruf eines Schlossers. 1968 bis 1973 Studium an der Hochschule für erdölverarbeitende und chemische Industrie in Moskau. Bis 1977 wissenschaftliche Tätigkeit an der Bauakademie der DDR. Seit 1977 Ingenieur für Lehre und Forschung im Bereich Automatisierung der Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg.

rechenbar und somit fehlerfrei. Hingegen wird die KKF $R_{xy}(\tau)$ experimentell ermittelt. Sie liegt bei ihrer Bildung entsprechend den äquidistanten Punkten der Zeitverschiebung $\tau = 0 \ldots kT \ldots$ (T Verzögerungsintervall) meistens in diskreter Form $R_{xy}(k)$ vor.

Unter Einbeziehung der Mikrorechentechnik zur Erzeugung eines Testsignals und zur Meßwertverarbeitung kann die KKF schon bei der Experimentdurchführung berechnet werden [2]. Dadurch werden die Meßfehler reduziert und die Meßwertmenge entscheidend verringert.

1. Modellfindung

Nachdem die Korrelationsfunktionen vorliegen, ist es notwendig, aus den theoretisch bekannten Werten der diskreten AKF $R_{xx}(k)$ und aus den experimentell ermittelten, fehlerbehafteten Werten der diskreten KKF $R_{xy}(k)$ das Modell des zu untersuchenden Systems (häufig ist es die Regelstrecke) möglichst mit geringem Fehler zu ermitteln. Die Bewertung der Güte des Modells hinsichtlich seiner Übereinstimmung mit dem realen System erfolgt im allgemeinen durch eine Verlustfunktion:

$$V = \sum_{k=0}^{k} e^2(k)\,, \tag{2}$$

worin $e = y - \hat{y}$ der Fehler zwischen dem Ausgangssignal des Prozesses und des Modells beim gleichen Eingangssignal ist. Das Modell der Regelstrecke kann in Form der Gewichtsfunktion $g(t)$, des Frequenzgangs $G(j\omega)$ oder der Übertragungsfunktion $G(p)$ ermittelt werden. Die Gewichtsfunktion erscheint aber immer als Zwischenergebnis, auch wenn sie nicht explizit zu bestimmen ist, was aus (1) folgt.

Soll das Modell des zu untersuchenden Systems in Form der Übertragungsfunktion ermittelt werden, wird die Gewichtsfunktion der Laplace-Transformation unterzogen:

$$G(p) = L\{g(t)\}\,. \tag{3}$$

In [3] ist das Verfahren der numerischen Laplace-Transformation beschrieben, das auf der zwischen Potenzen des Laplace-Operators p im Bildbereich und den Ableitungen der Diracschen Deltafunktion $\delta(t)$ im Zeitbereich bestehenden Korrespondenz p^i ●—○ $\delta^{(i)}(t)$ beruht. Die dort ermittelten Gleichungen berücksichtigen die höchste Ableitung der Deltafunktion und sind auf die jeweilige Ordnung der Bildfunktion $G(p)$ zugeschnitten. Zwischen den Werten der Zeitfunktion $g(t)$ und den Parametern $a_0 \ldots a_m$, $b_0 \ldots b_n$ ihrer Laplace-Transformation

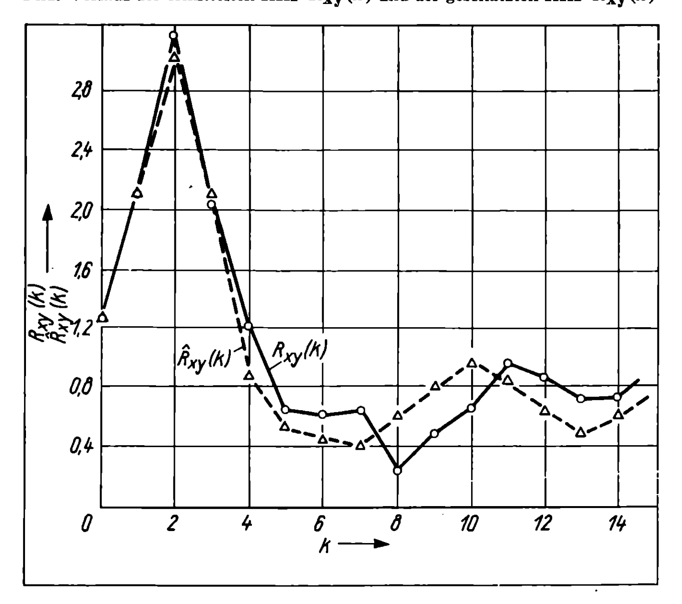
$$G(p) = \frac{a_m p^m + a_{m-1} p^{m-1} + \ldots + a_1 p + a_0}{b_n p^n + b_{n-1} p^{n-1} + \ldots + b_1 p + b_0} \quad \text{bei} \quad m \leqq n \tag{4}$$

gelten folgende Beziehungen:

$$\left.\begin{aligned} g(k) &= B_k + \sum_{i=1}^{n} A_i \cdot g(k-i) \quad \text{für} \quad k \leqq n \\ g(k) &= A_0 + \sum_{i=1}^{n} A_i \cdot g(k-i) \quad \text{für} \quad k > n\,. \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

n Ordnung der Bildfunktion; B_k, A_0, A_i von Parametern der Bildfunktion abhängige Koeffizienten

Bild. Verlauf der ermittelten KKF $R_{xy}(k)$ und der geschätzten KKF $\hat{R}_{xy}(k)$



Das Verfahren der numerischen Laplace-Transformation ermöglicht einen problemlosen Übergang von der diskreten Gewichtsfunktion zur Übertragungsfunktion. Voraussetzung zur Anwendung dieses Verfahrens ist aber, daß die Werte der Gewichtsfunktion mit kleinen Fehlern ermittelt sind.

Die Berechnung der Gewichtsfunktion wäre theoretisch sehr einfach durch die Entfaltung möglich:

$$g(t) = R_{xy}(\tau) \overset{*}{*} R_{xx}(\tau)\,. \tag{6}$$

Es wurde leider festgestellt, daß die Entfaltungsoperation die Meßfehler von $R_{xy}(\tau)$ erheblich verstärkt und dadurch die weitere Verwendung der so berechneten Werte der Gewichtsfunktion unmöglich macht. Dagegen existieren andere Verfahren zur Bestimmung von Werten der Gewichtsfunktion mit kleineren Fehlern. Die algebraische Methode [4] ist davon vielleicht am meisten verbreitet. Hier wird die Beziehung (1) als System aus N Gleichungen für N Werte der Zeitverschiebung dargestellt:

$$\begin{pmatrix} R_{xy}(0) \\ \vdots \\ R_{xy}(k) \\ \vdots \\ R_{xy}(N-1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{xx}(0) & R_{xx}(1) & \ldots & R_{xx}(N-1) \\ \vdots & & & \vdots \\ R_{xx}(k) & R_{xx}(k+1) & \ldots & R_{xx}(N-1-k) \\ \vdots & & & \vdots \\ R_{xx}(N-1) & R_{xx}(N-2) & \ldots & R_{xx}(0) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} g(0) \\ \vdots \\ g(k) \\ \vdots \\ g(N-1) \end{pmatrix} \tag{7}$$

oder in Matrizenform:

$$\boldsymbol{R}_{xy} = \boldsymbol{R}_{xx}(t-k) \cdot \boldsymbol{g}\,. \tag{8}$$

Dann können die Werte der diskreten Gewichtsfunktion aus

$$\boldsymbol{g} = \boldsymbol{R}_{xy} \cdot [\boldsymbol{R}_{xx}(t-k)]^{-1} \tag{9}$$

bestimmt werden. Wird zur Verbesserung der Genauigkeit des Verfahrens noch die Methode der kleinsten Quadrate hinzugezogen, führt die algebraische Methode zum guten Ergebnis, was mit sehr großem Rechenaufwand erkauft wird.

Es besteht die Aufgabe, ein anderes Verfahren mit kleinerem Rechenaufwand zu finden, das gleichfalls die Entfaltungsoperation vermeidet und den Einfluß der Meßfehler von KKF reduziert.

2. Verfahren der approximierten Gewichtsfunktion

Nach (5) wird bei der numerischen Laplace-Transformation der Verlauf der Gewichtsfunktion $g(k)$ ab dem Zeitpunkt $k = kT = n + 1$ (n Ordnung der Übertragungsfunktion $G(p)$) durch ein Approximationspolynom der gleichen Ordnung n dargestellt. Werden beide Seiten dieses Polynoms mit der AKF $R_{xx}(\tau)$ gefaltet, ergibt sich:

$$g(k) * R_{xx}(k) = A_0 * R_{xx}(k) + \sum_{i=1}^{n} A_i \cdot g(k-i) * R_{xx}(k-i)\,. \tag{10}$$

Entsprechend (1) und den Faltungsgesetzen folgt:

$$R_{xy}(k) = A_0 \cdot [R_{xx}(k)\ 1] + \sum_{i=1}^{n} A_i \cdot R_{xy}(k-i) \quad \text{für} \quad k > n\,. \tag{11}$$

Die Polynomkoeffizienten A_i können jetzt aus den errechenbaren Werten $(R_{xx}(k) * 1)$ und den gemessenen KKF-Werten bestimmt werden. Dabei wird die Entfaltungsoperation ausgeschlossen. Für die Ordnung n ergibt sich ein System aus nur n Gleichungen:

$$\underset{\boldsymbol{Y}}{\begin{bmatrix} R_{xy}(n+1) \\ \vdots \\ R_{xy}(k) \\ \vdots \\ R_{xy}(2n+1) \end{bmatrix}} = \underset{\boldsymbol{X}}{\begin{bmatrix} R_{xx}(n+1) * 1 & R_{xy}(n) & \ldots & R_{xy}(1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_{xx}(k) * 1 & R_{xy}(k-1) & \ldots & R_{xy}(k-n) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R_{xx}(2n+1 * 1) & R_{xy}(2n) & & R_{xy}(n+1) \end{bmatrix}} \cdot \underset{\boldsymbol{A}}{\begin{bmatrix} A_0 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{bmatrix}} \tag{12}$$

Hier soll die Methode der kleinsten Quadrate zur Verbesserung der Schätzung der Koeffizienten A_i unbedingt verwendet werden. Dabei können alle vorhandenen Werte der gemessenen KKF $R_{xy}(k)$ in die Berechnung einbezogen werden. Die Berechnung der Koeffizienten A_i erfolgt dann nach der Gleichung:

$$A = [X^T \cdot X]^{-1} \cdot X^T \cdot Y, \quad (13)$$

was aber wiederum zur Berechnung von Matrizen mit der Ordnung $n + 1$ und zum entsprechendem Gleichungssystem gleicher Ordnung führt.

Nachdem das Approximationspolynom (5) für die Werte $k > n$ der Gewichtsfunktion bestimmt ist, werden die restlichen Werte ($k = 0 \dots n$) der Gewichtsfunktion durch direkte Entfaltung aus der KKF bestimmt. Jetzt liegt die gesamte geschätzte Gewichtsfunktion $g(t)$ in diskreter Form vor und kann der Laplace-Transformation nach den in [3] abgeleiteten Formeln unterzogen werden.

3. Bestimmung der Modellordnung

Zur Bestimmung der Übertragungsfunktion $G(p)$ nach dem beschriebenen Verfahren muß die Ordnung n des Approximationspolynoms der Gewichtsfunktion gewählt werden. Dies geschieht entsprechend (2) nach dem minimalen Wert der Verlustfunktion $V(k; n)$ zwischen der gemessenen und der geschätzten KKF $R_{xy}(k)$ für verschiedene Werte der Modellordnung n. Die geschätzte KKF wird durch die Faltung von AKF $R_{xx}(\tau)$ mit der geschätzten Gewichtsfunktion $g(t)$ für jeweilige Modellordnung nach (1) berechnet.

4. Anwendungsbeispiel

Das oben abgeleitete Verfahren der approximierten Gewichtsfunktion (siehe auch Abschn. 2.) wurde zur Ermittlung von Übertragungsfunktionen mobiler landwirtschaftlicher Aggregate angewendet. Damit wurde das Lenkverhalten eines Radtraktors K-700 auf nachgiebigem Ackerboden unter einsatzähnlichen Bedingungen untersucht. Auf den Traktor wirken stochastische Störgrößen seitens der Fahrbahn. Nicht alle davon sind theoretisch bekannt und mathematisch beschreibbar. Deshalb war es notwendig, die experimentelle Identifikation der Regelstrecke — Traktor K-700 auf dem Ackerboden — vorzunehmen. Sie wurde mit Hilfe der Korrelationsanalyse und des Verfahrens der approximierten Gewichtsfunktion durchgeführt.

Die Eingangsgröße mobiler Aggregate beim Lenken ist der Lenkwinkel β, der für den Traktor K-700 mit Knicklenkung dem Knickwinkel der beiden Rahmenteile entspricht. Als Ausgangsgröße wurde der Gierwinkel ε des vorderen Rahmenteils vom Traktor gewählt.

Die Regelstrecke stellt ein System ohne Ausgleich dar. Dementsprechend wurde nicht der Gierwinkel selbst, sondern die Gierwinkelgeschwindigkeit gemessen. Damit wird gewährleistet, daß das Integral

$$R_{\beta\varepsilon}(\tau) = \lim_{t \to \infty} \int_0^t \beta(t)\, \varepsilon(t - \tau)\, dt \quad (14)$$

bei der Berechnung von KKF konvergiert. Die Gierwinkelgeschwindigkeit wurde mit einem Geber gemessen, der auf der Grundlage eines Kreisels mit zwei Freiheitsgraden aufgebaut ist.

Aus den experimentell ermittelten KKF wurden die Übertragungsfunktionen berechnet. Bei der Berücksichtigung von (2) ergab sich:

$$G(p) = \frac{K_I}{p} \frac{T_4^2 p^2 + T_3 p + 1}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}. \quad (15)$$

Die Parameter von $G(p)$ wurden bei verschiedenen Versuchsbedingungen ermittelt. Alle dazu notwendigen Berechnungen wurden mit dem programmierbaren Tischrechner K 1000 durchgeführt. Ein Vergleich zwischen der experimentell ermittelten KKF $R_{xy}(k)$ und der entsprechend der im Abschn. 3. geschätzten KKF $\hat{R}_{xy}(k)$ (Bild) zeigt, daß trotz der erheblichen Meßfehler von $R_{xy}(k)$ eine gute Modellschätzung gelungen ist.

Zusammenfassung

Den klaren theoretischen Grundlagen der Korrelationsanalyse stehen erhebliche praktische Schwierigkeiten bei ihrer Durchführung gegenüber, wenn experimentell ermittelte, meßfehlerbehaftete Funktionen zur Verfügung stehen. Zur Bestimmung der Gewichtsfunktion aus der Wiener-Hopf-Gleichung sind umfangreiche Berechnungen notwendig, um die durch die Meßfehler der Kreuzkorrelationsfunktion verursachten Fehler der Gewichtsfunktion zu reduzieren. Das Verfahren der approximierten Gewichtsfunktion ermöglicht es, den Rechenaufwand zu verringern. Es ist für Rechner jeder Leistungsklasse geeignet. Das Verfahren ist gegenüber Fehlern der Kreuzkorrelationsfunktion wenig empfindlich. Es ist außerdem direkt auf die numerische Laplace-Transformation zugeschnitten, was zur problemlosen Berechnung der Übertragungsfunktion des zu identifizierenden Systems führt.

Literatur

[1] *Funk, W.:* Korrelationsanalyse mittels Pseudorauschsignalen zur Identifikation industrieller Regelstrecken. Dissertation A, TU Stuttgart 1975.
[2] *Friedrich, R.; Wendel, N.:* Realisierung eines Kreuzkorrelators zur Systemidentifikation durch Anwendung eines Mikrorechners. msr, Berlin 20 (1977) 2, S. 668–671.
[3] *Stepanek, E.:* Praktische Analyse linearer Systeme durch Faltungsoperationen. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G. 1976.
[4] *Isermann, R.:* Prozeßidentifikation. Identifikation und Parameterschätzung dynamischer Prozesse mit diskreten Signalen. Berlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1974.
msr 8000

H. Fuchs[1])

Erfahrungen beim Einsatz von Geräten und Einrichtungen des Systems ursatron 5000

0. Einleitung

Der Generationswechsel bei Automatisierungsmitteln durch Einführung der Mikrorechentechnik bedeutet einen tiefen Einschnitt, der die Automatisierungsgeräte und -anlagen berührt sowie das Anwendungsfeld erweitert [1] bis [4].

Die Variantenvielfalt internationaler Industrielösungen für Automatisierungssysteme dieser Generation ist inzwischen relativ groß geworden.

Das System ursatron 5000 als der elektronische Teil des Systems ursamat gliedert sich hier erfolgreich ein. Die Vorstellung des Automatisierungsgerätesystems wurde in der Literatur bereits vielfach vorgenommen [5] bis [12]. Deshalb sollen in diesem Beitrag zunächst einige Weiterentwicklungen vorgestellt und an einigen ausgewählten Beispielen Einsatzerfahrungen dargestellt werden. Eine Verallgemeinerung der Einsatzerfahrungen macht Tendenzen für eine nächste Generation sichtbar [11] bis [14] und [16].

[1]) Prof. Dr.-Ing. *Hans Fuchs* (46) studierte von 1954 bis 1960 Regelungstechnik an der TH Ilmenau. Seit 1960 im IfR Berlin als Entwicklungsingenieur, Gruppenleiter, Fachdirektor und von 1979 bis 1983 als Institutsdirektor tätig. Gleichzeitig seit 1981 Direktor F/E des VEB KEAW „Friedrich Ebert" Berlin-Treptow. Seit 1983 stellvertretender Direktor des Zentralinstitutes für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW der DDR. Seit 1968 nebenberuflich in der Lehre tätig, zunächst an der TH Karl-Marx-Stadt, 1975 Berufung zum Honorardozenten und 1983 zum Honorarprofessor an die TU Dresden. 1972 Promotion A an der TH Ilmenau. Vorstandsmitglied der WGMA.

1. Komplettierung der Lösungskomponenten des Systems ursatron 5000

Eine Erweiterung der gerätetechnischen Basis des Systems ursatron 5000 [10] durch den Produzenten, das Kombinat VEB Elektroapparate-Werke „Friedrich Ebert" Berlin-Treptow, erfolgt kontinuierlich sowohl durch Weiterentwicklung und Ergänzung von Baugruppen aufgrund von Einsatzerfahrungen als auch durch die Erweiterung der Bauelemente-Basis [16]. Dazu gehören u. a.:

- Datenverdichtungsbaugruppe AE-DV zur mikroprozessorgestützten Vorverarbeitung, anschließbar an den K 1520-Bus
- Intelligentes Zwischenblockinterface zur Ankopplung von MR-Funktionseinheiten an serielle digitale Datenübertragungssysteme
- Überwachungsmodul UEW zur Überwachung der Baugruppen der MR-Funktionseinheiten
- Busverstärker für internen Bus der Funktionseinheiten
- Anschlußbaugruppe für Lichtleiter zum Ersatz des elektrischen Koaxialkabels im Punkt-zu-Punkt-Verkehr
- Robustperipherie zur Prozeßkopplung der ursadat 5000 (4 Blöcke, maximal 200 m absetzbar in Sternstruktur oder Linienstruktur an eine Grundeinheit angeschlossen)
- Lösungen für die Kleinautomatisierung, beginnend mit dem Mikroprozessos-Regler ursamar 5000
- Weiterentwicklung der Programmier- und Service-Geräte.

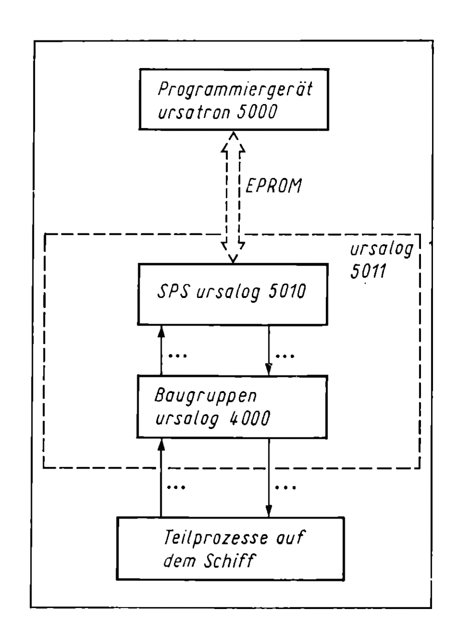
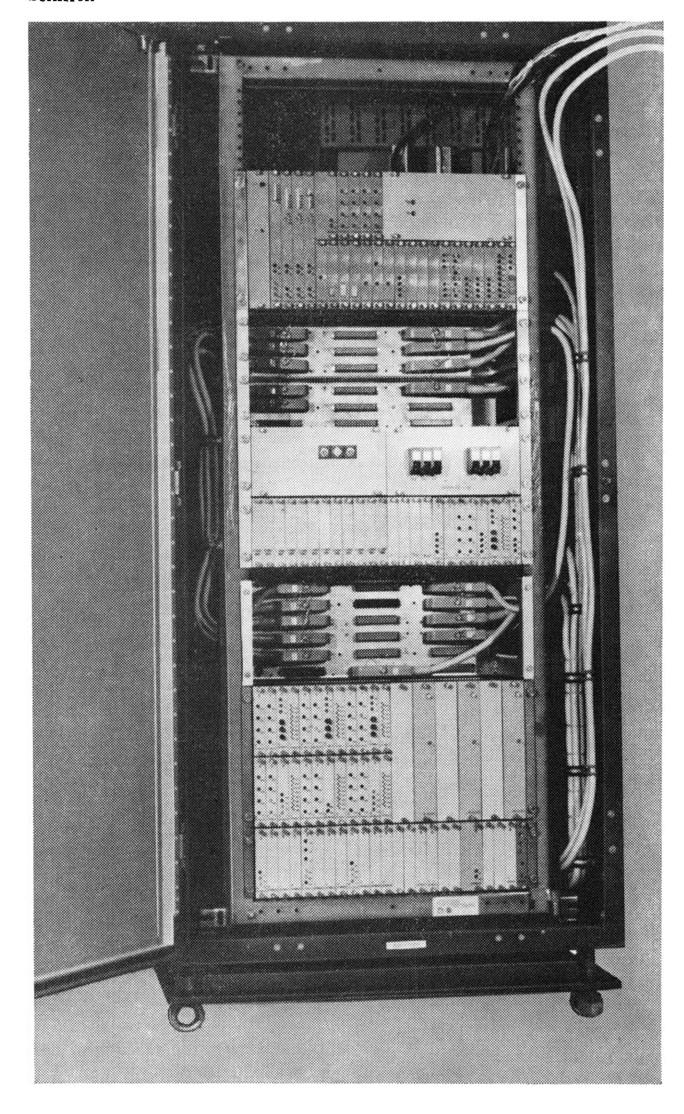


Bild 1. Signalflußplan der SPS 5011

Des weiteren werden zusätzliche Lösungskomponenten zur Kopplung unterschiedlicher Rechner und Automatisierungssysteme untereinander entwickelt und bereitgestellt.
Neben der Hardware-Erweiterung wird insbesondere an dem Ausbau der programmtechnischen Basis gearbeitet. Dabei erfolgt die gezielte Auswertung gesammelter Einsatzerfahrungen. Das Paket von Anwenderprogrammen und System-Software wächst von Einsatzfall zu Einsatzfall. Die technischen Mittel zur Handhabung und Entwicklung von Programmsystemen werden geschaffen (Programm-Katalog, problemnahe Notationen, Compiler für höhere Programmiersprachen, Generierarbeitsplätze mit entsprechender Software). Weiterhin erfolgt die Erweiterung der Anwendungsbreite derjenigen Einrichtungen und Anlagensysteme, die primär für einen eingegrenzten Anwendungsbereich vorgesehen waren [4], z. B. ursalog 4000 oder ursalog 5020 für nichtnumerische Maschinensteuerungen [17].
Das bedeutet eine kontinuierliche Erweiterung der Möglichkeiten für Projektanten und Betriebe, mit dem System ursatron Probleme effektiv zu lösen.

Bild 2. Ansicht der SPS ursalog 5011 zur Automatisierung von Prozessen auf Schiffen



2. Problemlösungen mit Komponenten von ursatron 5000

Dargestellt wird eine kleine Auswahl von Anwendungsfällen, die einen Rückschluß auf die Vielfalt und verallgemeinerungswürdige Schlußfolgerungen zulassen. Einsatzbeispiele wurden bereits in [13] [16] [17] und [18] dargestellt. Dabei wurde u. a. über den Einsatz ursamar 5000 zur Gewächshausautomatisierung, ursalog 5010 zur Fliesenpressensteuerung und ursalog 5020 zur Industrieroboter-Steuerung berichtet.

2.1. *Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) ursalog 5011 für die Schiffsautomatisierung*

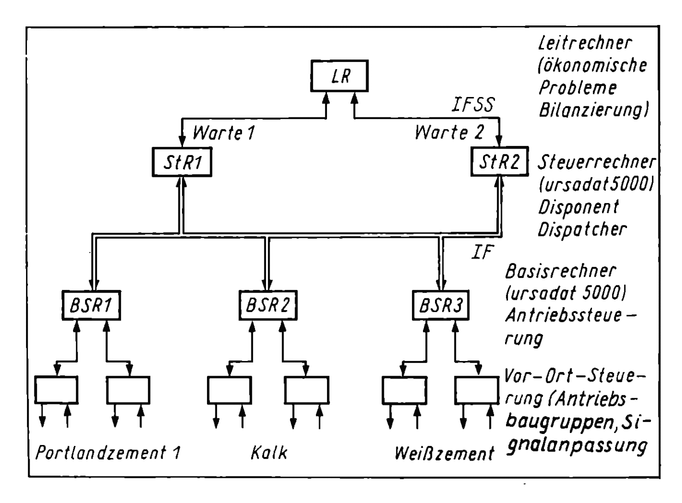
Die SPS ursalog 5011 wird als Problemlösung für die Automatisierungsaufgaben auf Schiffen vom KEAW „Friedrich Ebert" Berlin angeboten [9]. Sie eignet sich für die Steuerung unterschiedlicher Aggregate auf Schiffen, insbesondere von Pumpen, Magnetventilen, Stellantrieben und Hilfsantrieben. Das Programm wird in programmierten Festwertspeichern EPROM der SPS ursalog 5010 festgehalten. Die Programmierung erfolgt aus dem Logikplan mit dem Programmiergerät ursatron 5000 unter Verwendung der problemorientierten Sprache PROLOG 1. Die Anpassung der SPS an die jeweiligen Prozeßabschnitte erfolgt durch Baugruppen des Systems ursalog 4000, eines Baugruppensystems zum Aufbau verdrahtungsprogrammierbarer Steuerungen (VPS) (Bild 1) [7].
Damit ist die SPS ursalog 5011 ein Beispiel für das sinnvolle Zusammenwirken unterschiedlicher Gerätegenerationen und für die Seetauglichkeit der elektronischen Einrichtung. Der Aufbau der SPS ursalog 5011 ist im Bild 2 zu sehen.

2.2. *Versandautomatisierung in einem Zementwerk*

Diese Problemlösung hat die Aufgabe, den Versand durch LKW und Bahn in einem Zementwerk zu rationalisieren und die automatische Abrechnung an die Kunden über den Leitrechner (LR) (Bild 3) zu sichern.
Für die unterschiedlichen Produkte (Kalk, Portlandzement, Weißzement) und unterschiedliche Abfüllstellen werden kodierte Kennziffern festgelegt. Die jeweiligen Eingaben bei Ein- und Ausfahrt, jeweils nach dem Wiegen des Fahrzeuges, erfolgen über spezielle Lochkarten. Entsprechende Lochkartenleser und Basisrechner an den Abfüllstellen sichern die jeweils richtige Ladung und Menge. Der Aufbau erfolgte über Baugruppen des Systems ursadat 5000 des KEAW „Friedrich Ebert" Berlin. Diese Konfiguration wurde bereits auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1983 gezeigt.

Bild 3. Struktur des Automatisierungssystems für die Automatisierung eines Zementwerkes

BSR Basisrechner; STR Steuerrechner; LR Leitrechner; IF Interface



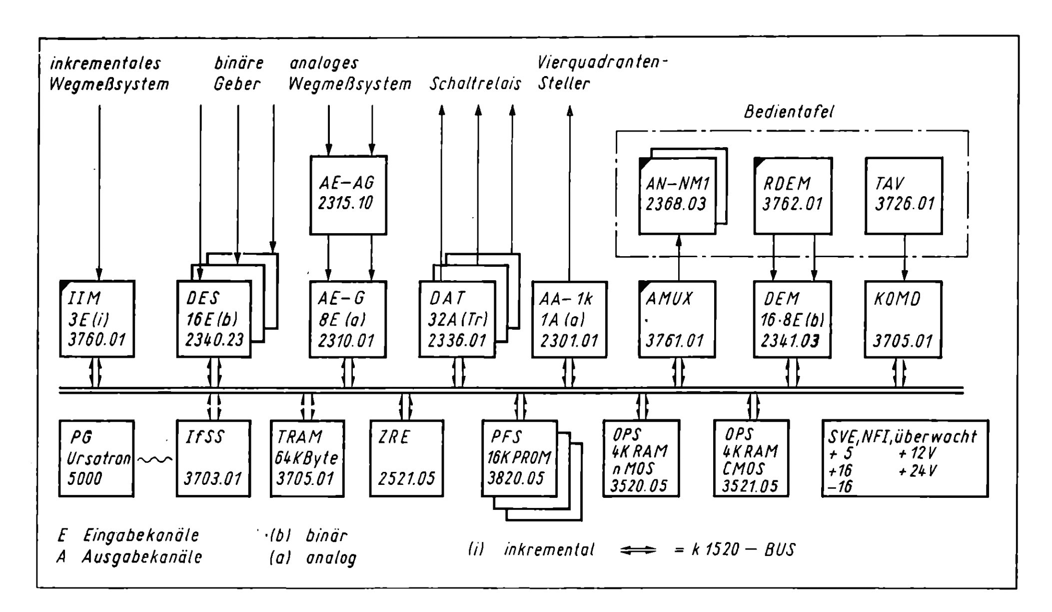


Bild 4. Signalflußplan der SPS ursalog 5022

(Bezeichnung der BG entsprechend Katalog ursalog 5020 und ursadat 5000 des KEAW)

2.3. *Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) ursalog 5022 zur Steuerung einer Innenrundschleifmaschine für Wälzlager*

Über die Gerätetechnik der SPS ursalog 5020 als Grundlage für die dargestellte Problemlösung ursalog 5022 wurde bereits u. a. in [8] berichtet. Der Anwendungsfall für den Wälzlagerinnenrundschleifautomat SIW 3/1 CAC des VEB Berliner Werkzeugmaschinenfabrik wurde ausführlich in [17] dargestellt. Die SPS ursalog 5022 löst dabei eine VPS mit Translog 2 ab und dient zur Steuerung der Prozeßabschnitte zur Herstellung von rotationssymmetrischen Werkstücken. Die Bearbeitungszeiten liegen in Abhängigkeit der Größe zwischen 5 und 25 s je Werkstück. Die notwendigen Toleranzen liegen bei ±0,001 mm. Die SPS ursalog 5022 muß dabei folgende technologische Bearbeitungsvarianten realisieren

- Schleifen auf Diamantbasis
- Schleifen mit Abrichten
- Schleifen im Oszillations- oder Tauchschleifverfahren
- Abrichten mit verschiedenen Einrichtungen.

Dabei sind mehr als 250 innere definierte Zustände notwendig, die über Programmablaufgraphen in Steuerungsalgorithmen ihren Niederschlag finden.
Zur Sicherung der Hardware wurden zum Standardbaugruppensystem ursalog 5020 einige Baugruppen zur Erfassung inkrementaler Meßwerte und zur effektiven Anzeige und Bedienung der SPS entwickelt und in Produktion überführt. Diese Konfiguration (Bild 4) wird dann als Problemlösung ursalog 5022 (Bild 5) vertrieben. Bei der Erprobung und den Ersteinsätzen konnten für den Betreiber folgende Effekte erreicht werden [17]:

- Volumenreduzierung von 40%
- Produktivitätssteigerung von 30%
- Erhöhung des Bedienkomforts.

2.4. *Verbrennungsregelung mit ursamar 5000*

Es besteht die Aufgabenstellung, Heizöl an einem Dampferzeuger einzusparen. Das kann durch Erhöhung der Flammtemperatur der Brenner und durch vollständigere Verbrennung erreicht werden. Daraus resultiert die Senkung des O_2-Gehaltes im Rauchgas von 3 ... 5% auf etwa 0,6 ... 1%.
Die *Lösung dieses Problems* wurde erreicht durch Forschungsmuster des 4-Kanal-Reglers aus dem System ursamat, dem Mikroprozessorregler ursamar 5000 [13].
Der Hardware-Aufwand umfaßt einen Regler mit 8 Eingängen und 4 Ausgängen (Bild 6).
Folgende Software-Module wurden verwendet:
2 × DT_1, 2 × Funktionen, 2 × Summation, 1 × Multiplikation, 2 × PI-Führungsregler, 4 × PI-Folgeregler.
Als *Ergebnis* konnte erreicht werden:
Etwa 2 Mill. Mark Einsparung (etwa 6 kt Heizöl/a) bei 6 × PI-Funktionen.

2.5. *Temperaturregelung eines Heißdampfüberhitzers*

Es besteht die *Aufgabe*, die Temperatur nach dem Überhitzen möglichst genau zu regeln. Dazu wird Speisewasser zur Tem-

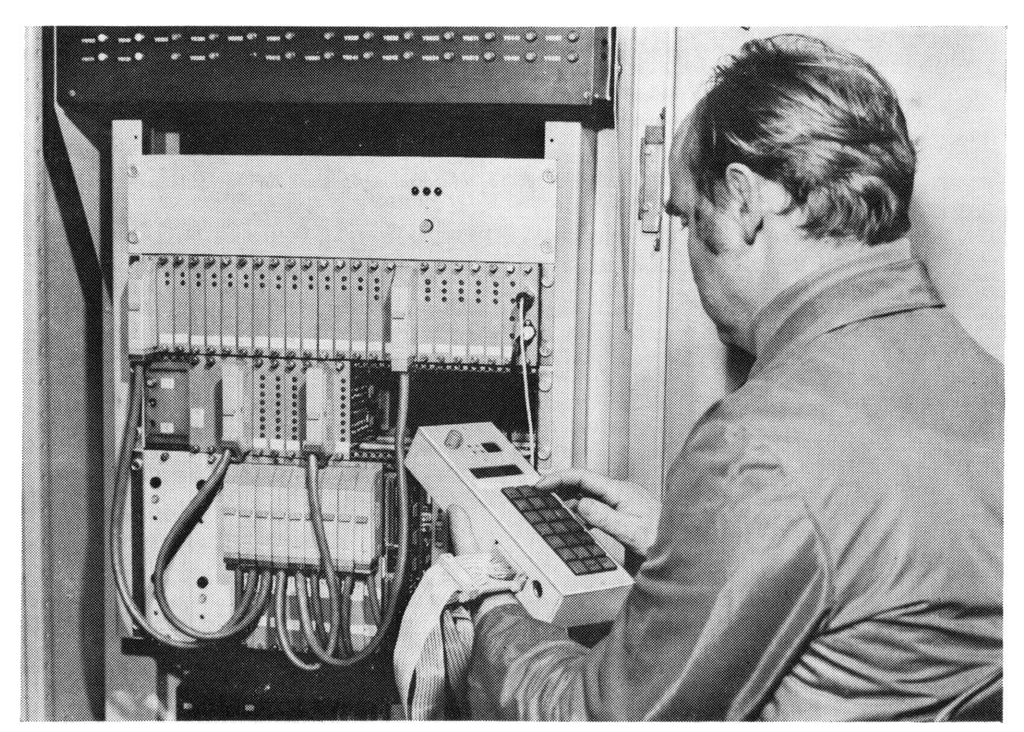


Bild 5. Ansicht der SPS ursalog 5022 bei der Inbetriebnahme

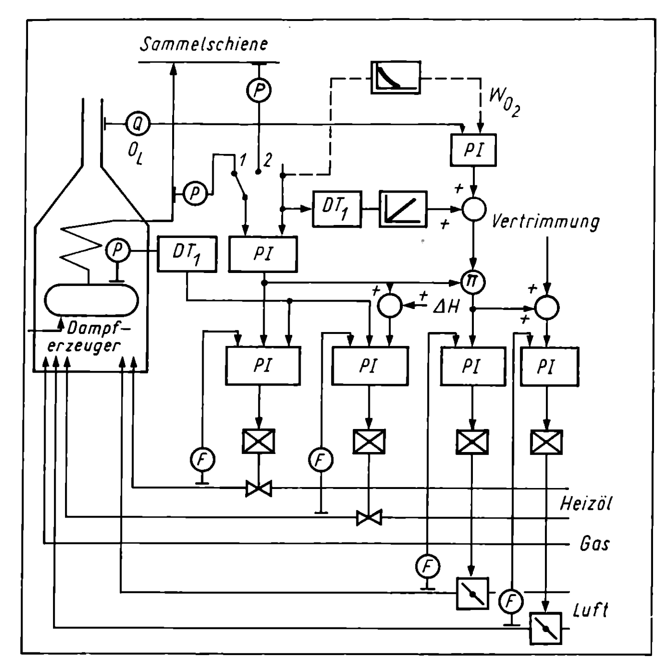


Bild 6. Signalflußplan der Verbrennungsregelung mit einem 4-Kanalregler ursamar 5000

1 Festlast; 2 Regelkessel für Sammelschiene

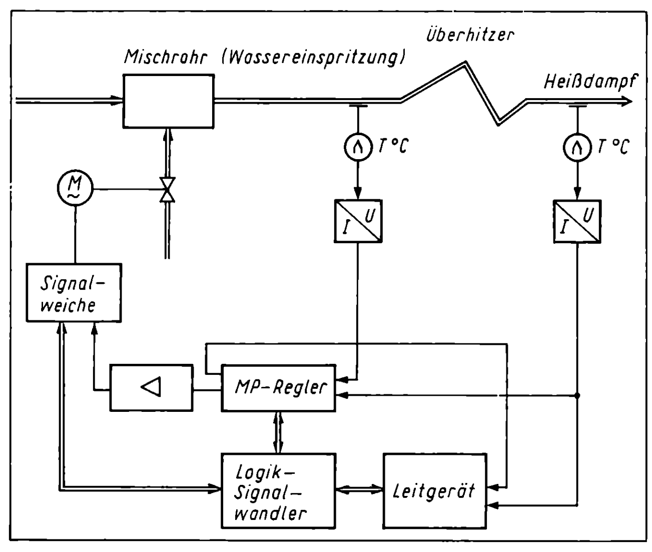
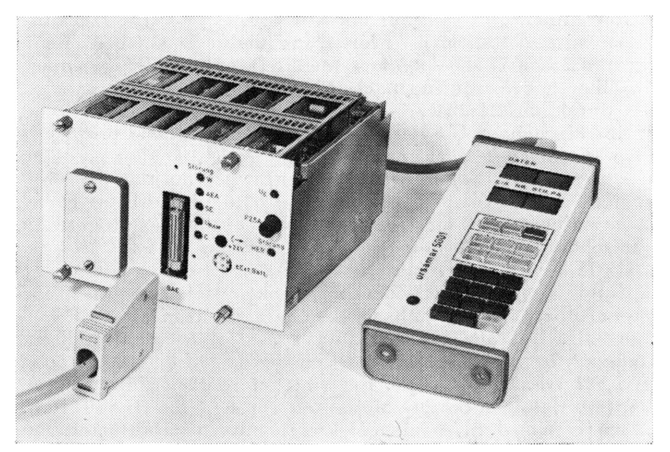


Bild 7. Signalflußplan einer Heißdampfüberhitzerregelung mit einem einkanaligen Regler ursamar 5001

Bild 8. Ansicht des Funktionsmusters des Einkanal-Mikroprozessor-Reglers ursamar 5001

rechts: Reglereinschub; links: Bediengerät



peraturregelung eingespritzt. Diese Aufgabenstellung ist typisch für Wärmekraftwerke.

Zur *Lösung* dieser Aufgabe wird ein einkanaliger MP-Regler mit Hilfsregelgröße eingesetzt, der entsprechend den Möglichkeiten der Mikroelektronik sowohl Analog- als auch Binäreingänge hat und logische Steuersignale ermöglicht.

Dieses Beispiel der Industrieerprobung der einkanaligen Kraftwerksregler ursamar 5001 liefert folgende Vorteile:

- Angepaßte analoge und binäre Signalverarbeitung
- Volumenreduzierung auf etwa 30% gegenüber konventioneller Instrumentierung
- Aufbaumöglichkeiten hierarchischer Strukturen über ein serielles Interface
- Reduzierung des Projektierungs- und Inbetriebnahmeaufwandes.

Der Signalflußplan ist im Bild 7 dargestellt.

Ein Funktionsmuster des MP-Reglers ist im Bild 8 zu sehen.

Zusammengefaßte Ergebnisse der Ersteinsätze von ursatron 5000

Einige erste verallgemeinerungsfähige Ergebnisse seien kurz stichpunktartig zusammengestellt:

- Reduzierung des Volumens auf 25 bis 30%
- Reduzierung des Projektierungsaufwandes auf 50%
- Reduzierung des Inbetriebnahmeaufwandes auf 40%
- Möglichkeiten des Einsatzes mehrerer Gerätegenerationen zur Lösung einer Aufgabe in einer Automatisierungsanlage (z. B. ursalog 4000/5000)
- Erhöhung der Zuverlässigkeit um eine Zehnerpotenz
- Ökonomische Realisierungsmöglichkeiten vermaschter Strukturen (Kaskadenregelung, Mehrgrößenregelung, Hilfsgrößenaufschaltung)
- Fehlermeldung sichert hohe Verfügbarkeit
- Ökonomische Realisierung höherwertiger Algorithmen und Verknüpfung mit Rechenfunktionseinheiten
- Grundlage für flexible, frei programmierbare Automatisierungslösungen.

Weitere Erkenntnisse werden die Inbetriebnahme projektierter autadec-Anlagen mit ursatron-5000-Gerätetechnik liefern.

Mit der Entwicklung neuer Gerätegenerationen des Systems ursamat besteht das Ziel, nicht nur die technischen Gebrauchswerte zu erhöhen und damit den Forderungen der Kunden und Anwender gerecht zu werden, sondern auch wesentliche ökonomische Effekte sowohl bei der Herstellung als auch beim Betreiben der Geräte und Einrichtungen zu erreichen.

Literatur

[1] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Automatisierung mit Mikroprozeßrechnern — Konsequenzen für die Projektierung. msr, Berlin 21 (1978) 8, S. 362—367.
[2] *Ankel, Th.; Pavlik, E.:* Regelungstechnik am Wendepunkt. rt 27 (1979) 1, S. 3—11.
[3] *Syrbe, M.:* Regelungstechnik auf dem Wege. rt 27 (1979) 4, S. 130—134.
[4] *Töpfer, H.; Fuchs, H.; Willem, H.:* Moderne gerätetechnische Mittel und ihre Konsequenzen für neue Automatisierungskonzepte. msr, Berlin 23 (1980) 1, S. 2—10.
[5] *Fuchs, H.:* Entwicklungstendenzen im System ursamat. impuls, Berlin 17 (1977) 1, S. 3—7.
[6] ursamat-Handbuch. Berlin: VEB Verlag Technik 1969.
[7] *Gottschalk, H.:* Digitale Bausteinsysteme für elektronische Steuerungen. Band 189 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.
[8] *Wilke, H.:* Speicherprogrammierbare Steuerung ursalog 5020. impuls, Berlin 23 (1983) 1, S. 5—10.
[9] *Könitzer, L.; Seidelmann, L.:* Speicherprogrammierbare Steuerung ursalog 5010. impuls, Berlin 22 (1982) 1, S. 14—19.
[10] *Obenhaus, G.; Hellmuth, G.:* Struktur des Automatisierungsgerätesystems ursatron 5000. impuls, Berlin 22 (1982) 4, S. 144—153.
[11] *Fuchs, H.; Plöckinger, W.:* Weiterentwicklung des Systems ursamat unter dem Einfluß der Mikroelektronik. msr, Berlin 24 (1981) 4, S. 211—216.
[12] *Fuchs, H.:* Ursatron 5000 — ein universelles, mikrorechnergesteuertes Automatisierungssystem. Vortrag auf dem 27. IWK der TH Ilmenau 1982.
[13] *Schmidt, P.:* Weiterentwicklung der elektronischen Regelgeräte durch Anwendung der Mikroelektronik. impuls, Berlin 21 (1981) 2, S. 70—78, und 3, S. 107—112.
[14] *Fuchs, H.; Bahrs, U.:* Bemerkungen zur Entwicklung der Automatisierungstechnik. msr, Berlin 25 (1982) 1, S. 2—7.
[15] *Fuchs, H.; Kunack, G.:* Sensoren — Bindeglieder zwischen Prozeß- und Automatisierungseinrichtung. msr, Berlin 25 (1982) 5, S. 277 und 278.
[16] *Fuchs, H.:* Einsatzerfahrungen mit ursatron 5000 — einem neuen Automatisierungsgerätesystem auf der Basis von Mikrorechnern im System ursamat. impuls, Berlin 24 (1984) S. 10—16.
[17] *Könitzer, L.; Lötjens, G.:* Ursalog 5022 steuert Wälzlagerinnenrundschleifautomat. impuls, Berlin 24 (1984) 2.
[18] *Töpfer, H.; Fuchs, H.; Willem, H.:* Zum Stand der Anwendung moderner Automatisierungsmittel. msr, Berlin 27 (1984) 1, S. 2—7.
[19] *Neumann, P.; Fuchs, H.:* Einsatz und Dimensionierung von Mikrorechner-Automatisierungsanlagen — Stand und Ausblick. Vortrag auf der Konferenz „Anwendung von Mikrorechnern in der Meß- und Automatisierungstechnik", 6. und 7. September 1983 an der TH „Otto von Guericke" Magdeburg.
[20] *Kriesel, W.; Richter, W.:* Automatisierungstendenzen. Technische Gemeinschaft (1983) 9, S. 10.

msr 8013

H. Hoyer [1])

Prozeß-Schnittstellen in der Mikrorechentechnik

0. Einleitung

In der Prozeßrechentechnik sind die Aufgaben Meßwerterfassung, Informationsverarbeitung und Stellgrößenausgabe zu lösen. Während für die Informationsverarbeitung leistungsstarke und universell einsatzfähige Lösungen vorliegen, hängen Meßwerterfassung und Stellgrößenausgabe stark von den Besonderheiten des Einsatzfalles ab. In vielen Fällen bilden Interfaceprobleme sogar die Hauptschwierigkeit. Dies liegt häufig in mangelnder Kompatibilität zwischen den herkömmlichen Automatisierungsmitteln und der Mikrorechentechnik begründet.
Die systemeigenen Eingabe/Ausgabe-Baugruppen (Peripherie-Schaltkreise) verarbeiten binäre Signale, was die Anwendung in Steuerungen (ursalog 5000) begünstigt. Ausnahmen sind selten und teuer (Signalprozessoren). Daher kommt der Gestaltung effektiver Schnittstellen eine große Bedeutung zu. Das betrifft besonders die Behandlung analoger Meßwerte und Stellgrößen.

1. Analog/Digitalwandler

Für die Umsetzung analoger Spannungen und Ströme, wie sie als Ausgangsgrößen vieler Meßwertgeber auftreten, eignen sich verschiedene Prozeduren. Die wichtigsten sind die Methode der sukzessiven Approximation (C 571) und Verfahren mit Ladungsausgleich (charge balance, dual slope: C 520).
Die sukzessive Approximation gestattet eine hohe Auflösung bei kurzer Umsetzzeit, erfordert aber eine konstante Eingangsspannung. Das dazu nötige Sample-and-hold-Glied ergibt zusammen mit dem teuren Schaltkreis C 571 einen hohen gerätetechnischen Aufwand. Es ist die direkte Busankopplung (bei kleinen Rechner-Konfigurationen) oder die Nutzung eines einfachen Parallel- oder auch Serieninterface (günstig für Potentialtrennung) möglich.
Auch der Dual-slope-Wandler C 520 läßt sich leicht an ein Parallelinterface anpassen [1]. Der geringe gerätetechnische Aufwand steht einer längeren Umsetzzeit und erforderlicher Anschlußsteuer-Software gegenüber. Um die Kapazität des Mikrorechners nicht unnötig zu belasten, sollte dieses Programm interruptgesteuert laufen. Weder das Halten der Eingangsspannung noch das Unterdrücken von Umschalt-Störimpulsen sind erforderlich.
Der Aufbau des Wandlers mit diskreten Bauelementen gestattet eine gute Anpassung an die Einsatzspezifik, erfordert aber einen hohen gerätetechnischen Aufwand [2].

2. Frequenzanaloge Signaldarstellung

Alternativ zu Spannung oder Stromstärke eignet sich die Frequenz als Signalparameter. Die Möglichkeit, dabei eine Impulsfolge mit digitalen Spannungspegeln verwenden zu können, vereinfacht die Probleme der Signalübertragung und verbessert die Störfestigkeit [3]. Hinzu kommt, daß sich aus der Sicht des Mikrorechners die Datenerfassung als Frequenz- oder Zeitmessung darstellt, wofür billige systemeigene Komponenten (z. B. CTC U 857) zur Verfügung stehen. Als Referenz dient dabei der quarzstabilisierte Systemtakt.
Die Auflösung a, bezogen auf den Meßwert, ergibt sich aus der Zahl der während der Meßzeit T_M aufgetretenen Impulse. Bis zu einer durch die maximal zulässige Frequenz gegebenen Schranke lassen sich diese beiden Parameter beliebig variieren:

$$a \cdot T_M \geqq \frac{1}{f_{max}} .$$

Bei großer Meßzeit ist eine sehr feine Auflösung möglich, während andererseits bei gröberer Quantisierung die Meßwerte häufig anfallen (Bild 1). Dadurch lassen sich über die frequenzanaloge Signaldarstellung auch Meßprobleme lösen, für die die Parameter üblicher A/D-Wandler nicht ausreichen.
Besonders einfach ist die Messung von Drehzahlen und anderen durch Frequenz oder Periodendauer dargestellten Größen. Die

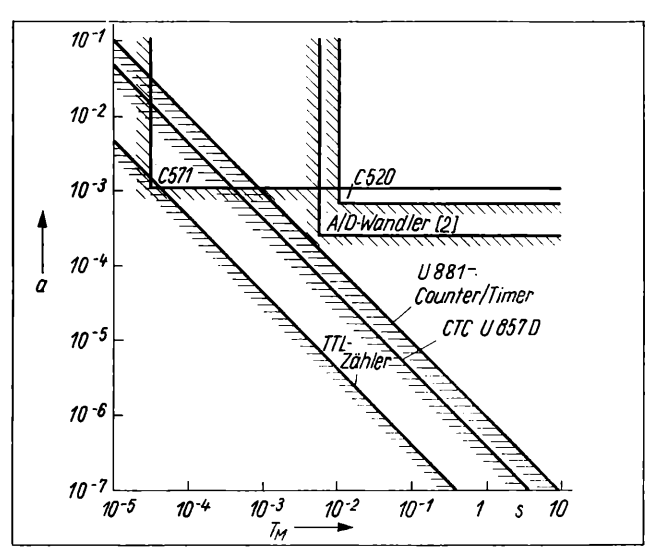


Bild 1. Anwendungsgrenzen verschiedener A/D-Wandler und Frequenz/Digitalumsetzer

breit angewendeten Initiatoren auf der Grundlage des Schaltkreises A 301 [4] können das Ausgangssignal in einem Pegel erzeugen, der die direkte Kopplung mit einem CTC U 857, einem PIO-Schaltkreis U 855 oder auch einem Eingabepin des Einchiprechners U 881 [5] gestattet. Bei Bedarf läßt sich natürlich zur Potentialtrennung auch ein Optokoppler in den Signalweg einfügen. In vielen Fällen ist es möglich, den Meßwert durch eine veränderliche Kapazität oder Induktivität darzustellen. Das gestattet die Anwendung des Schaltkreises A 301 als Oszillator mit meßwertabhängiger Frequenz (Pin 12 bleibt dabei frei) und eine ebenfalls sehr kostengünstige und zuverlässige Datenübertragung zum Mikrorechner. Bei der Abschätzung der Auflösung ist zu beachten, daß die Frequenz nicht zwischen Null und f_{max} variiert, sondern nur in einem Teilintervall, woraus sich eine geringe Zahl von Quantisierungsschritten ergibt. Aus der Sicht des Rechners bedeutet eine Frequenzmessung einen höheren Aufwand als eine Zeitmessung, da neben dem Echtzeitgeber ein weiterer Zähler je Meßgröße benötigt wird. Die Periodendauer dagegen läßt sich durch Subtraktion des Zeitpunktes (vom Echtzeitgeber) eines Pegelübergangs der Impulsfolge vom Zeitpunkt des vorherigen Übergangs berechnen. Dabei ist nicht mehr ein kompletter Zähler, sondern nur ein interruptauslösender Eingangsanschluß je Meßgröße erforderlich. Für langsame Vorgänge (bis etwa 50 Hz = 3000 min^{-1}) erlaubt oft das Polling ausreichende Genauigkeit, so daß hier auf die Interruptfähigkeit verzichtet werden kann. Weiterhin tritt bei der Zeitmessung die hohe Frequenz (f_{max}) nur innerhalb des Rechners auf. Die Meßgrößen transportiert eine Impulsfolge weit niederer Frequenz, die keine besonderen Forderungen an die Übertragungsleitung stellt.
Die Abschätzung des Meßfehlers läßt sich leicht anhand der Unsicherheit des Erkennens des Zeitpunktes, zu dem der Pegelübergang eintritt, ausführen. Diese Reaktionszeitschwankung des Rechners ergibt sich aus der Verzögerung der Interruptannahme bei gleichzeitiger Anforderung mehrerer Quellen. Beim Mikroprozessor U 880 ist die schnelle Interruptfreigabe innerhalb einer Serviceroutine nach Abarbeitung des zeitkritischen Teils durch die Hardware-Prioritätskette behindert, während der Einchiprechner U 881 nur die Interruptannahme priorisiert und während der Serviceroutine die Freigabe aller anderen Quellen gestattet. Neben den Interruptserviceroutinen der Meßeingänge, für die beim U 880 minimal 53,6 µs und beim U 881 18,5 µs zu berechnen sind, geht die Bearbeitung der programmtechnischen Verlängerung des Echtzeitgebers (U 880: 38,4 µs; U 881: 18,5 µs) in die Reaktionszeit ein.
Aufgrund dieser Meßunsicherheit ergeben sich für praktische Systeme mit dieser Organisation engere Grenzen als in Bild 1 dargestellt. Bei der Verarbeitung von drei frequenzanalogen Eingängen beträgt die Reaktionszeit des U 880 bis zu 145,6 µs, des U 881 maximal 55,5 µs. Für eine geforderte Auflösung von 0,4% (8 bit) folgen daraus Meßzeiten von 37,3 ms (U 880) bzw. 14,2 ms (U 881), d. h., es fallen Meßwerte mit einer Häufigkeit von

[1]) Dr.-Ing. *Helmut Hoyer* (30) studierte von 1972 bis 1976 Elektronik-Technologie an der Sektion Elektronik der Humboldt-Universität zu Berlin. Dort von 1976 bis 1982 wissenschaftlicher Assistent am Lehrgebiet Maschinelle Rechentechnik. 1980 Promotion A auf dem Gebiet der Informationstechnik. Seit 1982 Mitarbeiter für Forschung im VEB Traktorenwerk Schönebeck.

26,8 bzw. 70 je Sekunde an. Das reicht für viele Anwendungsfälle aus. Extrem genaue Messungen lassen sich beim U 880 mit dem nicht maskierbaren Interrupteingang ausführen. Der Einchiprechner U 881 bietet die Möglichkeit, den Zähler 1 über den Anschluß P 31 zu steuern, wobei der dabei entstehende Interrupt IRQ 2 nur eine niedrige Priorität benötigt und nach 13,5 µs bereits weitere Unterbrechungen zulassen kann. Hier gelten wie bei entsprechender Beschaltung von U-857-Kanälen die im Bild 1 dargestellten Anwendungsgrenzen.
Für die Verarbeitung einer großen Anzahl frequenzanaloger Signale können wie bei den A/D-Wandlern Multiplexer eingesetzt werden, die allerdings nur digitale Signale zu schalten brauchen (z. B. MH 74151). Da es möglich ist, Asynchronität zwischen den einzelnen Eingängen zuzulassen, muß nicht der in [6] dargestellte Aufwand getrieben werden. Die frequenzanaloge Darstellung erlaubt gegenüber der spannungsanalogen fast immer wirtschaftlichere und zuverlässigere Lösungen der Prozeßdateneingabe in Mikrorechner, so daß sich mitunter auch die Frequenzwandlung von Meßspannungen lohnen dürfte.

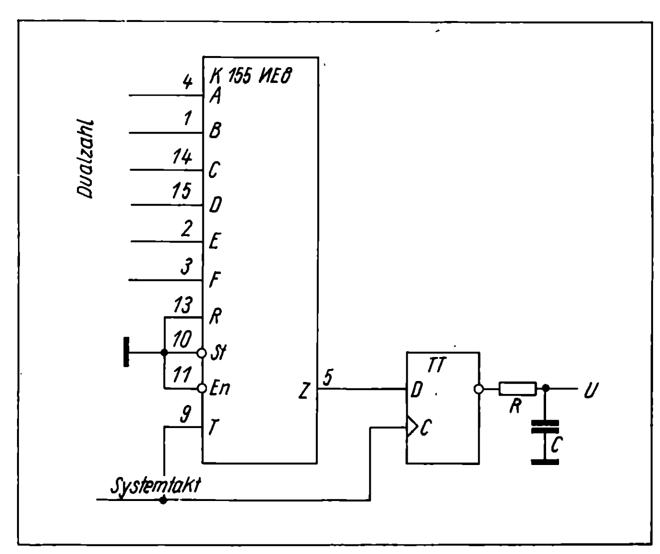
3. Digital/Analogwandler

Die Ausgabe analoger Spannungen erfolgt gewöhnlich durch die Zuordnung einer Strom- oder Spannungsquelle zu jeder Dualstelle, deren Betrag dem jeweiligen Stellenwert proportional ist. Je ein elektronischer Schalter stellt, abhängig von der Belegung des betreffenden Bits, die Verbindung zum Summenpunkt her. Am Ausgang entsteht auf diese Weise die der am Eingang anliegenden Dualzahl entsprechende Spannung. Die einzelnen Spannungsquellen lassen sich z. B. mittels R/2R-Netzwerks aus einer Referenzgröße ableiten, für jede Dualstelle ist jedoch ein sehr genauer Analogschalter erforderlich.
Die frequenzanaloge Signaldarstellung erlaubt bei gleichem Grundprinzip Lösungen mit geringerem gerätetechnischen Aufwand. Der TTL-Schaltkreis K 155 ИЕ 8 [7] wandelt eine parallele Dualzahl in eine Impulsfolge, deren mittlere Impulshäufigkeit dem Wert der Dualzahl proportional ist. Durch Ergänzung dieses Schaltkreises mit einem Trigger und einem Tiefpaß läßt sich diese Größe auch in eine analoge Spannung überführen (Bild 2). Nachteilig ist die vergleichsweise lange Einschwingzeit, die der Tiefpaß hervorruft. Hohe Genauigkeitsforderungen werden nur an den Trigger gestellt, dessen Schaltverhalten bei beiden Übergängen ($0 \rightarrow 1$ und $1 \rightarrow 0$) gleich und dessen Ausgangspegel stabil sein müssen. In vielen Fällen reichen die Parameter eines CMOS-Schaltkreises aus.
Die Bemessung des Tiefpaß folgt aus der Arbeitsweise des Frequenzteilers K 155 ИЕ 8. Jeder zweite Ausgangsimpuls wird von der höchstwertigen Dualstelle beeinflußt, jeder vierte von der nächstfolgenden usw. Die n-te Dualstelle widerspiegelt sich in der Ausgangsimpulsfolge aller 2^n Taktperioden. In dieser Zeit darf sich die Ausgangsspannung des Tiefpaß höchstens um einen Quantisierungsschritt (2^{-n}) verändern. Für die Zeitkonstante $T = R \cdot C$ gilt daher folgende — von der Taktfrequenz f und der Verarbeitungsbreite n abhängige — Beziehung:

$$T = \frac{2^{2n}}{f} \cdot$$

Ein Frequenzteiler K 155 ИЕ 8 verarbeitet 6 bit. Bei Verwendung des U 880-Systemtaktes (2,5 MHz) ergibt sich eine erforderliche Zeitkonstante von 1,6 ms. Für zwei kaskadierte Schaltkreise (12 bit) beträgt dieser Wert dagegen bereits 6,7 s. Sind entsprechend lange Einschwingzeiten zulässig, kann der Frequenzteiler auch programmtechnisch realisiert werden. Der Hardware-Aufwand reduziert sich dann auf einen die Genauigkeit beeinflussenden Schalter und den Tiefpaß. Günstig ist auch, daß diese Lösung nur einen Ausgabeanschluß erfordert.

Bild 2. D/A-Wandler mit Frequenzteiler



4. Mensch-Maschine-Kommunikation

In der Prozeßrechentechnik ist in der Regel nur ein sehr begrenzter oder auch gar kein Mensch-Maschine-Dialog nötig. Meistens reduziert sich die Eingabe auf wenige Tasten, die gemeinsam mit Prozeß-Meldekontakten matrixförmig verschaltet regelmäßig abgefragt werden können (Polling). Die Ausgabe über Leuchtdioden ist ebenfalls mit geringem Hardware-Aufwand verbunden. Auch eine Ziffernanzeige mit multiplex gesteuerten 7-Segment-Tableaus kann bei programmtechnischer Verwaltung noch relativ einfach realisiert werden. Die Bildschirmausgabe erfordert dagegen bereits einen beträchtlichen Aufwand. Dafür hat sie die Vorteile, auch umfangreiche Informationen überschaubar und effektiv ausgeben zu können und keine prozeßspezifische Gerätetechnik zu benötigen.
Programmtechnisch lassen sich Tasten und Leuchtdioden als langsames binäres Steuerungsproblem behandeln. Die Bildschirmausgabe stellt sich für den Rechner als Laden des Bildwiederholspeichers mit Zeichenketten dar. Sie ist besonders bei hohem Komfort sehr speicheraufwendig.
Für die Protokollausgabe eignet sich ein Fernschreibdrucker wegen der einfachen Anschlußtechnik und der weitgehenden Wartungsfreiheit. Die dazu nötige Parallel-Serien-Wandlung des Zeichenkodes kann programmtechnisch mit einer aller 10 ms (100 Baud) oder 20 ms (50 Baud) z. B. durch einen CTC-Kanal gestarteten Interruptserviceroutine erfolgen, wobei die Rechenkapazität nur unwesentlich belastet wird (U 880: 0,52% bzw. 0,26%). Verglichen mit dem in [8] vorgeschlagenen Fernschreiber-Interface reduziert sich dabei die nötige Gerätetechnik auf die von einem Ausgabeanschluß geschaltete Konstantstromquelle. Zusätzlich ergibt sich sogar eine Entlastung der Rechenzeitkapazität, weil die WAIT-Steuerung entfällt, und der Ausgabekapazität (1 Ausgang anstelle von 6 Ausgängen und 1 Eingang). Da ein Telegrafie-Empfänger ebenso leicht programmtechnisch behandelt werden kann, eignet sich diese Form der Datenübertragung auch zur Rechnerkopplung und Fernbedienung. Der Einchiprechner U 881 gestattet mit dem internen Serieninterface noch eine Vereinfachung der dazu erforderlichen Programme.

Zusammenfassung

Für eine effektive Schnittstellengestaltung bei Prozeßrechnern bietet die frequenzanaloge Darstellung eine für viele Anwendungsfälle günstige Alternative im Vergleich zur spannungsanalogen. Bei Meßeinrichtungen erlaubt sie einen großen Spielraum für die Wahl von Auflösung und Meßzeit. Trotz einfacher Gerätetechnik ist durch Verwendung digitaler Spannungspegel eine zuverlässige Datenübertragung möglich. Die Ausgabe frequenzanaloger Signale kommt mit geringem gerätetechnischen Aufwand aus. Die Umwandlung in eine analoge Spannung ist sehr einfach realisierbar, aber mit langen Einschwingzeiten verbunden. Auch die Mensch-Maschine-Kommunikation erfordert bei Prozeßrechnern nur geringen gerätetechnischen Aufwand und belastet die Rechenkapazität wenig. Auf der Grundlage der Telegrafie lassen sich Protokollausgabe und Datenfernübertragung sehr kostengünstig realisieren. Insgesamt kennzeichnet die Lösungen ein minimaler Hardware-Aufwand einschließlich geringer Belastung der Eingabe/Ausgabe-Kapazität.

Literatur

[1] *Scheuschner, D.:* A-D-Wandler C 520 mit U 880 gekoppelt. rfe, Berlin 31 (1982) 6, S. 384.
[2] *Krauß, M.; Jehmlich, W.; Engewald, J.:* A/D-Umsetzung bei der Meßdatenerfassung, insbesondere unter dem Aspekt der Kopplung mit dem Mikrorechnersystem K 1520. msr, Berlin 25 (1982) 2, S. 62–67.
[3] *Engel, R.:* Frequenzanaloge Systemkomponenten als Bestandteil moderner Automatisierungskonzepte auf Mikrorechnerbasis. msr, Berlin 25 (1981) 11, S. 618–620.
[4] *Buttgereit, D.; Haberland, K.-H.:* Aufbau, Eigenschaften und Anwendung des integrierten Initiator-Schaltkreises A 301 D. Information-Applikation Mikroelektronik Heft 2, Frankfurt/Oder 1979.
[5] *Geidel, K.-D.; Roth, M.:* U 881-Beschreibung. Lehrmaterial der TH Ilmenau, Sektion TBK, Ilmenau 1983.
[6] *Jehmlich, W.:* Eingabe-Schnittstellen zur Prozeßdatenerfassung mit dem Mikrorechner K 1520. msr, Berlin 25 (1982) 7, S. 380–385.
[7] *Kühn, E.; Schmied, H.:* Handbuch integrierte Schaltkreise. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.
[8] *Hochmuth, O.:* Fernschreiberanschluß für K 1520. rfe, Berlin 32 (1983) 1, S. 17 und 18.
msr 7997

W. Fuchs; *H.-E. Albrecht*, *W. Kröger*[1])

Strömungsbezogene Datenverarbeitung beim Laser-Doppler-Anemometer im Burst-Betrieb

0. Einleitung

Die Laser-Doppler-Anemometrie (LDA) findet als berührungsloses, quasi punktförmiges Geschwindigkeitsmeßverfahren Anwendung bei der Lösung offener strömungstechnischer Probleme [1] und [2]. An der Sektion Technische Elektronik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock wurde ein LDA-Meßplatz entwickelt [3], dessen Erprobung am Kavitationskanal der Sektion Schiffstechnik erfolgte [4].

Die Laser-Doppler-Anemometrie ist ein indirektes Meßverfahren, gemessen wird die Geschwindigkeit von Streuteilchen, die entweder in der Strömung vorhanden sind oder zugesetzt werden müssen, wobei Schlupffreiheit vorausgesetzt wird. Die Besonderheit des Einsatzes eines LDA-Gerätes an Kavitationskanälen besteht darin, daß natürliche Streuteilchen, Luftblasen und Verunreinigungen ausgenutzt werden müssen. Ein Zusatz künstlicher Streuteilchen ist aus technischen Gründen nicht möglich, so daß mit relativ geringer Streuteilchenkonzentration und damit mit einem diskontinuierlichen Signal gearbeitet werden muß. Meßwerte am Kavitationskanal ergaben im LDA-Gerät eine Dichte auswertbarer natürlicher Streuteilchen von $n_0 = 0{,}8\ \text{mm}^{-3}$ bei einem ellipsoiden Meßvolumen mit den Halbachsen zum e^{-2}-Intensitätsabfall von $a = 67\ \mu\text{m}$, $b = 66\ \mu\text{m}$ und $c = 368\ \mu\text{m}$ und Signalraten von $67\ \text{s}^{-1}$ bei $v = 1\ \text{ms}^{-1}$ bzw. $10^3\ \text{s}^{-1}$ bei $v = 15\ \text{ms}^{-1}$ Anströmgeschwindigkeit (Bild 1).

Eine zeitäquidistante Abtastung der Strömung zur Ermittlung der Geschwindigkeit stößt wegen des dabei erforderlichen Vorhandenseins mindestens eines Streuteilchens während des Abtastzeitraumes auf Schwierigkeiten. Es bietet sich ein Meßregime an, das von jedem Teilchen, das das Meßvolumen passiert, die Geschwindigkeit bestimmt. Dieses Meßregime, genannt Burst-Betrieb, erfordert durch die Abhängigkeit der Signalrate von der Strömungsrichtung (durch die ellipsoide Form des Meßvolumens) und der Strömungsgeschwindigkeit selbst eine angepaßte Datenverarbeitung zur Ermittlung der realen Geschwindigkeitsverteilung einschließlich ihrer als Zeitmittelwerte definierten Lageparameter, wie Mittelwert und Varianz. Letztere können nur aus dem Ensemble der durch die Teilchenkonzentration hervorgerufenen Signalrate nach entsprechender Wichtung berechnet werden.

1. Angepaßte Datenverarbeitung für Burst-LDA

Der örtliche Zeitmittelwert der Strömungsgeschwindigkeit ist als

$$\bar{v}_{x,y,z} = \lim_{V\to 0}\left[\frac{1}{V}\int_V \left(\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_T v_{x,y,z}\,\mathrm{d}t\right)\right]\mathrm{d}V \qquad (1)$$

definiert, mit: V Meßvolumen, T Meßzeit, wobei $V \to 0$ in der Praxis bedeutet, die Meßvolumenabmessungen so zu wählen, daß innerhalb des Meßvolumens die Geschwindigkeitsgradienten vernachlässigbar sind und bei turbulenten Strömungen die Abmessungen kleiner sind als die der kleinsten Turbulenzelemente [5]. Da nur eine Geschwindigkeitskomponente bestimmt werden kann, geht (1) für den Burst-Betrieb unter Beachtung der momentanen Signalrate $S_n = \mathrm{d}N/\mathrm{d}t$ in

$$\bar{v}_x = \lim_{V\to 0}\frac{1}{V}\int_V\left(\lim_{N\to\infty}\frac{\int_N \frac{v_{xn}}{S_n}\,\mathrm{d}N}{\int_N \frac{\mathrm{d}N}{S_n}}\right)\mathrm{d}V \qquad (2)$$

über und für endliches Volumen und endliche Anzahl N von Meßwerten in

$$\bar{v}_x = \frac{\sum_N \frac{v_{xn}}{S_n}}{\sum_N \frac{1}{S_n}}. \qquad (3)$$

Diese Gleichung besagt, daß unter den Bedingungen des Burst-Betriebes jeder Meßwert mit der momentanen Signalrate S_n gewichtet werden muß, um korrekte zeitliche Mittelwerte der Strömungsparameter zu erhalten.

Die Richtungsabhängigkeit der Signalrate (Bild 2) beim Burst-LDA wurde in [6] als Verhältnis der wirksamen Fläche des richtungsabhängigen Abtastvolumens (Volumen, aus dem Meßwerte tatsächlich erfaßt werden) zur in Meßrichtung, der x-Richtung, wirksamen Fläche des Meßvolumens $A_{\perp x} = \pi bc$ (s. Bilder 1 und 2) mit

$$\frac{A_\perp(\varphi,\vartheta)}{A_{\perp x}} = k_1 = a\sqrt{A}\ ; \qquad A = \frac{1}{a^2}\cos^2\varphi\sin^2\vartheta + \frac{1}{b^2}\sin^2\varphi\sin^2\vartheta + \frac{1}{c^2}\cos^2\vartheta \qquad (4)$$

bestimmt. Eingesetzt in (3) ergibt sich für den zeitlichen Mittelwert

$$\bar{v}_x = \frac{\sum_N \frac{v_{xn}}{v_n\sqrt{A_n}}}{\sum_N \frac{1}{v_n\sqrt{A_n}}}. \qquad (5)$$

Hierin zeigt sich die Schwierigkeit einer angepaßten Datenverarbeitung: die korrekte Ermittlung der Zeitmittelwerte erfordert die Kenntnis des Strömungsgeschwindigkeitsvektors in Betrag und Richtung bereits bei nur einer zu bestimmenden Geschwindigkeitskomponente.

2. Ermittlung des Wichtungsfaktors aus dem Fotoempfängersignal

Aus dem Wechselanteil des Fotoempfängerstromes für einen Burst

$$i(t) = I_m\, e^{-(t-t_1)^2/2\sigma_t^2}\cos(2\pi f_D t + \varphi_0) \qquad (6)$$

wird f_D zur Ermittlung der momentanen x-Geschwindigkeit herangezogen. σ_t ist meßbar als Aufenthaltsdauer τ_m des Teilchens im Abtastvolumen, wenn die Grenzen des Abtastvolumens aus der festen Amplitudenschwelle I_S definiert werden (Bild 3). Die Amplitudenschwelle I_S ergibt sich aus den schaltungstechnischen Parametern der Signalauswertung und steht mit der Einhüllenden der cos-Funktion des Wechselsignals in Beziehung:

$$I_S = I_m\, e^{-\tau_1^2/2\sigma_t^2}\ ; \qquad \tau_1 = \tfrac{1}{2}\tau_m. \qquad (7)$$

Da ein und dieselbe Teilchenbahn sich sowohl als Zeitfunktion mit dem Parameter t als auch als Ortsfunktion mit dem Parameter r gemäß

$$I_S = I_m\, e^{-r^2/2\sigma_r^2} \qquad (8)$$

darstellen läßt und sich die längste mögliche Bahn im Bereich des Meßvolumens ($I_S = I_m \cdot e^{-2}$) als

$$d_{max} = r_1 - r_2 = \frac{2}{\sqrt{A}} \qquad (9)$$

ergibt, erhält man einen Zusammenhang zwischen σ_r der Ortsdarstellung und A gemäß

$$\sigma_r = \frac{1}{2\sqrt{A}}. \qquad (10)$$

Die Varianzen σ_t und σ_r sind über die Geschwindigkeit v verknüpft:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_r}{v}, \qquad (11)$$

---

[1]) Dipl.-Ing. *Werner Fuchs* (30) studierte von 1976 bis 1980 Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik an der WPU Rostock. Seither als Forschungsstudent an der dortigen Sektion Technische Elektronik.

Doz. Dr. sc. techn. *Heinz-Eberhard Albrecht* (49) studierte von 1955 bis 1962 an der TU Dresden und war anschließend bis 1964 dort Assistent am Institut für Allgemeine Elektrotechnik. Von 1964 bis 1971 am Institut für Allgemeine Elektrotechnik bzw. an der Sektion Technische Elektronik der WPU Rostock tätig. 1970 Promotion A. In den Jahren 1971 und 1972 Industrietätigkeit. 1973 Berufung zum Hochschuldozenten, von 1974 bis 1980 Leitungstätigkeit. 1983 Promotion B „Ein Beitrag zur Laser-Doppler-Anemometrie". Derzeit als Hochschuldozent und Forschungsgruppenleiter tätig.

Dipl.-Ing. *Willfried Kröger* (31) studierte von 1974 bis 1978 Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik an der WPU Rostock. Von 1978 bis 1980 wissenschaftlicher Assistent und seither Ingenieur für Forschung und Lehre an der dortigen Sektion Technische Elektronik.

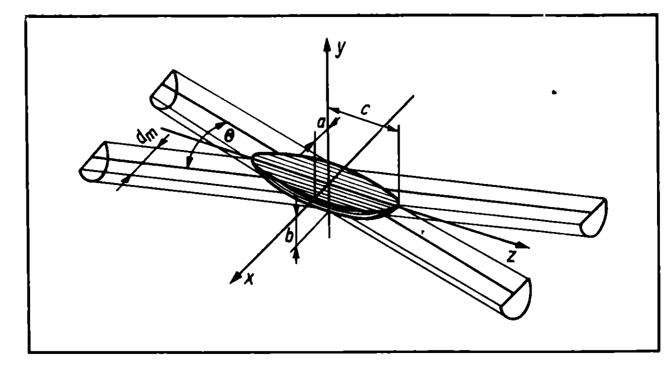


Bild 1. LDA-Meßvolumen (Schnitt in x-z-Ebene)

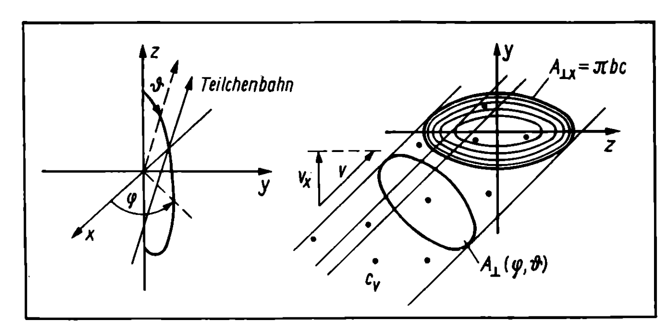


Bild 2. Richtungsabhängigkeit der wirksamen Fläche des Meßvolumens

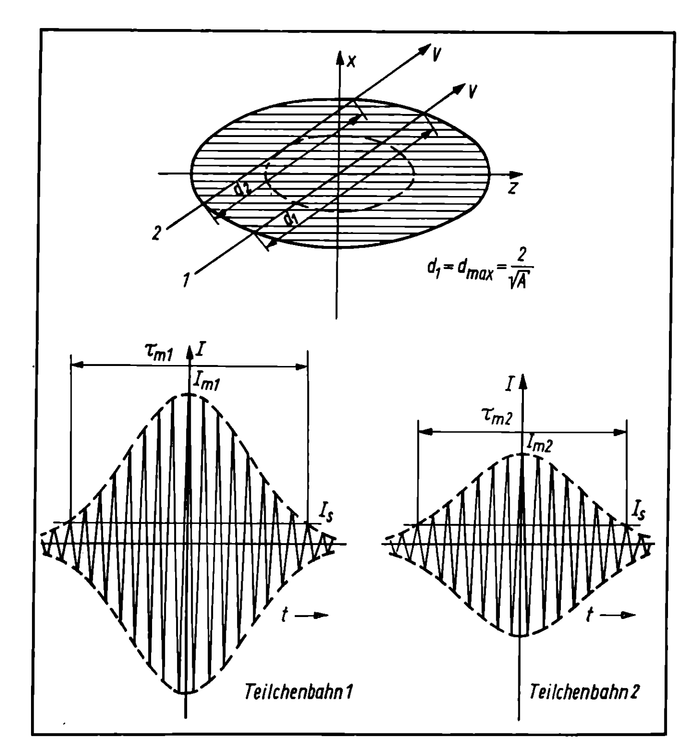


Bild 3. Signale von Teilchen unterschiedlicher Bahnen gleicher Richtung

so daß sich für den Wichtungsfaktor in (5) ergibt:

$$\frac{1}{v_n \sqrt{A_n}} = \frac{\tau_{mn}}{\sqrt{2 \ln (I_{mn}/I_s)}} . \tag{12}$$

Damit ist eine exakte Ermittlung der Geschwindigkeitsverteilung einschließlich ihrer Lageparameter bei einer zu messenden Komponente durch Bestimmung von Aufenthaltsdauer τ_m und Signalamplitude I_m bei jedem Burst möglich.

3. Einbeziehung der Mindestmeßzeit und Ermittlung der 3. Strömungsgeschwindigkeitskomponente

In [6] wurde gezeigt, daß die zur Signalauswertung notwendige Mindestmeßzeit der Signalauswerteeinheit, beim häufig verwendeten Counter als Mindestperiodenzahl interpretierbar, auch bei Benutzung einer Frequenzvorverschiebung einen entscheidenden Einfluß auf die Signalrate haben kann. Unter Einbeziehung des Einflusses der richtungsabhängigen wirksamen Fläche des Abtastvolumens nach (4) ergibt sich die Richtungsabhängigkeit der Signalrate zu

$$\frac{A_{\perp}(\varphi, \vartheta, N_e)}{A_{\perp x}} = k_1 \cdot k_2 = k_1 \left(1 - \frac{v_n^2 N_e^2 A}{4 f_D^2}\right) , \tag{13}$$

wobei N_e die erforderliche Mindestperiodenzahl darstellt. Für f_D ist die tatsächlich dem Auswertegerät zugeführte Signalfrequenz einzusetzen.
Da in (13) alle Größen bekannt bzw. durch Messung bestimmbar sind, ist eine exakte Datenverarbeitung bei nicht vernachlässigbarem Mindestmeßzeitfehler möglich, bisherige Datenverarbeitungsverfahren [7] und [8] berücksichtigen diesen Fehler nicht. Die exakte Datenverarbeitung ist bis zum Grenzwinkel der Detektierbarkeit, bestimmt durch $k_2 = 0$, also

$$N_e^2 = \frac{4 f_D^2}{v_n^2 A} \tag{14}$$

möglich, die Orientierung des Meßvolumens in der Strömung muß so erfolgen, daß Anströmungen aus nicht detektierbaren Richtungen nicht vorkommen bzw. vernachlässigbar sind [6]. Gleichung (12) kann zur Ermittlung der 3. momentanen Geschwindigkeitskomponente herangezogen werden. Unter Ausnutzung von (4) ergibt sich

$$v_n^2 A_n = \frac{v_{xn}^2}{a^2} + \frac{v_{yn}^2}{b^2} + \frac{v_{zn}^2}{c^2} = \frac{2 \ln (I_{mn}/I_s)}{\tau_{mn}^2} . \tag{15}$$

Sind durch gleichzeitige Messung bzw. durch A-priori-Information, z. B. zweidimensionale Strömung, zwei momentane Strömungsgeschwindigkeitskomponenten bekannt, kann durch Umstellung von (15) die 3. Komponente rechnerisch ermittelt werden.

Zusammenfassung

Die Ausführungen zeigen, daß zur Realisierung einer exakten Datenverarbeitung für Strömungen niedriger Streuteilchenkonzentrationen zusätzliche Signalparameter herangezogen werden müssen. Die Auswertung der Signalparameter ermöglicht darüber hinaus die Bestimmung der 3. Strömungsgeschwindigkeitskomponente bei zwei bekannten Komponenten ohne zusätzlichen optischen Aufwand [9]. Der Schwerpunkt der Datenverarbeitung verlagert sich auf die Softwareseite. Bei Realisierung eines 3-Komponenten-LDA-Meßplatzes mit Mikrorechner K 1520 sind als Hardwarekomponenten lediglich auszuführen:

2 × Periodendauermesser, z. B. des Verfahrens nach [10]
1 × Spitzenwertmesser, Aufenthaltsdauerbestimmung und Koinzidenzschaltung.

Zweckmäßigerweise erfolgt die Ausführung als Rechnerzusatzleiterkarten im Doppel-Europakartenformat. In Verbindung mit der in [3] beschriebenen Optik und dem Fotoempfänger einschließlich Verstärker und Hochpaß erhält man einen LDA-Meßplatz, mit dessen Hilfe eine Vielzahl strömungstechnischer Messungen ausführbar ist.

Literatur

[1] *Durst, F.; Melling, A.; Whitelaw, J. H.*: Principles and Practice of Laser Doppler Anemometry. London/New York/San Francisco: Academic Press 1976.
[2] *Durrani, T. S.; Greated, C. A.*: Laser Systems in Flow Measurements. New York/London: Plenum Press 1977 (in Russ.). Moskva: izd. Energija 1980.
[3] *Kröger, W.; Albrecht, H.-E.; Fuchs, W.*: LDA-Meßplatz zur seriellen Mehrkomponentenmessung mit mikrorechnergekoppeltem Periodendauermesser. msr, Berlin 26 (1983) 3, S. 134–140.
[4] *Albrecht, H.-E.; Fuchs, W.; Kröger, W.; El-Dandoush, S.; Puls, D.*: Entwicklung, Erprobung und Anwendung eines Laser-Doppler-Anemometers für Strömungsmessungen im Kavitationskanal. Schiffbauforschung 22 (1983) 2, S. 75–86.
[5] *George, W. K.; Lumley, J. L.*: The laser Doppler velocimeter and its application to the measurement of turbulence. J. Fluid Mech. 60 (1973) 2, pp. 321–362.
[6] *Fuchs, W.; Albrecht, H.-E.; Kröger, W.*: Zur Berechnung der Signalrate beim Laser-Doppler Anemometer im Burst-Betrieb. msr, Berlin 26 (1983) 6, S. 331–335.
[7] *McLaughlin, D. K.; Tiedermann, W. G.*: Biasing correction for individual realization of laser anemometer measurements in turbulent flows. Phys. of Fluids 16 (1973) 12, pp. 2082–2088.
[8] *Hösel, W.; Rodi, W.*: New biasing elimination method for laser-doppler velocimeter counter processing. Rev. Sci. Instrum. 48 (1977) 7, pp. 910 bis 919.
[9] *Albrecht, H.-E.; Fuchs, W.; Kröger, W.*: Verfahren und Anordnung zur Auswertung von Doppler-Anemometer-Signalen. DD-WP-Anmeldung WP GO1P/242 226 4 vom 4. August 1982.
[10] *Albrecht, H.-E.; Kröger, W.*: Verfahren zur Auswertung von Signalen bei Doppler-Anemometern. DD-WP 149 279, Ausgabe: 22. August 1980.

msr 7881

D. Schild[1])

Übersicht zur Thermometrie mit Thermoelementen

0. Einleitung

Thermoelemente beruhen auf dem 1821 von *Seebeck* entdeckten und nach ihm benannten Effekt. Sie werden seit nahezu 100 Jahren zur Temperaturmessung benutzt (siehe [2]).

Bedingt durch die Entwicklung der Mikroelektronik stehen heute analoge und digitale Temperaturmeßgeräte zur Verfügung, die als Temperaturfühler Thermoelemente verwenden [3]. Derartige Geräte gestatten in der Regel den direkten Anschluß an Thermodrähte, so daß für den Anwender das Problem der Vergleichsstelle entfällt. Der entstehende Meßfehler, hervorgerufen durch Schwankungen der Vergleichstellentemperatur zwischen 0 °C und 50 °C (Umgebungstemperaturbereich), kann bei Präzisionsgeräten kleiner 0,1 K gehalten werden. Somit gestatten derartige Meßeinrichtungen unter Verwendung eng tolerierter oder speziell ausgesuchter Thermoelementfühler sehr genaue Temperaturmessungen, wie sie bisher nur mit Flüssigkeits-Glas- und Widerstandsthermometern erreichbar waren. Die günstigen dynamischen Eigenschaften dürften der Hauptgrund dafür sein, daß international etwa 80% aller elektronischen Thermometer mit Thermoelementen als Meßfühler ausgestattet sind.

Aufgrund des einfachen Aufbaus eines Thermoelementes ist es für den Anwender leicht möglich und oft vorteilhaft, Thermopaare für spezielle Meßaufgaben selbst anzufertigen. Das Nichtbeachten einfacher Grundgesetze des Thermokreises kann dabei leicht zu Meßfehlern führen, worunter im folgenden Einflüsse parasitärer Thermoelemente, galvanischer Elemente u. a. elektrische Einflüsse verstanden sein sollen. Meßfehler, die darauf beruhen, daß die Meßstelle des Thermoelementes eine vom zu messenden Medium abweichende Temperatur hat, werden nicht behandelt.

Das Ziel des Beitrages besteht darin, eine Übersicht zu geben. Prinzipiell neuartige Erkenntnisse werden nicht vermittelt.

1. Allgemeines

Verbindet man zwei elektrische Leiter aus unterschiedlichen, meist metallischen Werkstoffen zu einem Stromkreis, fließt in diesem ein Strom, wenn die beiden Verbindungsstellen voneinander verschiedene Temperatur haben.

Man nennt die beiden Leiter das Thermopaar. Die einzelnen Thermodrähte werden als Thermoschenkel bezeichnet. Die Verbindungsstelle, die der zu messenden Temperatur ausgesetzt wird, ist die Meßstelle, die andere die Vergleichsstelle. Bild 1 zeigt eine derartige Anordnung. Die entstehende Thermospannung ist unabhängig von der Temperaturverteilung entlang der Thermoschenkel, wenn die Thermodrähte homogen sind. Allein die Temperatur von Meßstelle und Vergleichstelle sowie die Werkstoffkombination der Thermoschenkel bestimmen die Größe der EMK.

Wird der Stromkreis gemäß Bild 1 aufgetrennt und einer der Schenkel durch einen beliebigen Leiterwerkstoff überbrückt, bleibt das thermoelektrische Verhalten der Gesamtanordnung unverändert, wenn die Punkte 1 und 2 (Bild 2) auf beliebiger, aber gleicher Temperatur gehalten werden. Die Verbindungsstellen 1 und 2 sind Thermoelemente gleichen Typs, die in ihrer Polarität entgegengesetzt geschaltet sind. Bei Temperaturgleichheit der Verbindungsstellen ist deren resultierende Thermospannung Null.

Zur praktischen Temperaturmessung ist eine Anordnung gemäß Bild 3 geeignet. Auch dieser Stromkreis ist an den Punkten 1 und 2 aufgetrennt. Die Kupferanschlußleitung, über die die Thermospannung an die weiterverarbeitende Baugruppe (z. B. Verstärker) geschaltet wird, schließt als Zwischenleiter den Thermokreis. Diese Anordnung arbeitet nur dann fehlerfrei, wenn an den Punkten 1 und 2 gleiche Temperatur herrscht.

Bild 4 zeigt eine weitere praktische Anordnung zur Temperaturmessung. Der Thermokreis ist an der Vergleichstelle aufgetrennt. Wieder fungieren die Kupferdrähte als Zwischenleiter, und es ist Gleichheit der Temperatur an den Anschlußpunkten 1 und 2 erforderlich.

Die Möglichkeit, in den Thermokreis Zwischenleiter einzufügen, hat darüber hinaus praktische Bedeutung bei der Installation von Meßstellen. Beispielsweise kann die Meßstelle weichgelötet werden, wenn die Meßstellentemperatur kleiner 150 °C ist. Ebenso können Thermodrahtverbindungen oder Verbindungen auf Kupferleiter hartgelötet oder geschweißt werden. Auch Klemmverbindungen sind üblich. Ein Fehler tritt nur dann auf, wenn längs der Zwischenleiterverbindung ein Temperaturgefälle vorhanden ist.

2. Übliche Thermopaarungen

Aus der Vielzahl der möglichen Thermopaarungen haben nur wenige praktische Bedeutung erlangt. In der DDR werden Thermoelemente vom Typ Fe-CuNi (bisher Fe-Co), NiCr-NiAl (bisher NiCr-Ni), Pt10%Rh-Pt und Pt30%Rh-Pt6%Rh hergestellt.

Die Grundwertreihen dieser Thermoelemente sind in der TGL 39440 festgelegt, die seit dem 1. Oktober 1982 Gültigkeit besitzt. Gegenüber der TGL 0-43710 wurden insbesondere für Fe-CuNi (Fe-Co.) die Grundwerte für Temperaturen oberhalb des Eispunktes geringfügig und unterhalb 0 °C stark verändert. In [4] sind dazu nähere Angaben zu finden.

[1]) Dr.-Ing. *Dietrich Schild* (31) studierte von 1971 bis 1975 Informationstechnik an der TH Ilmenau. Von 1975 bis 1981 dort als wissenschaftlicher Assistent. 1982 Promotion A auf dem Gebiet der Mikrowellenmeßtechnik. Seit 1981 im VEB Thermometerwerk Geraberg tätig, dort jetzt Gruppen- und Themenleiter auf dem Gebiet der elektronischen digitalen Temperaturmeßtechnik.

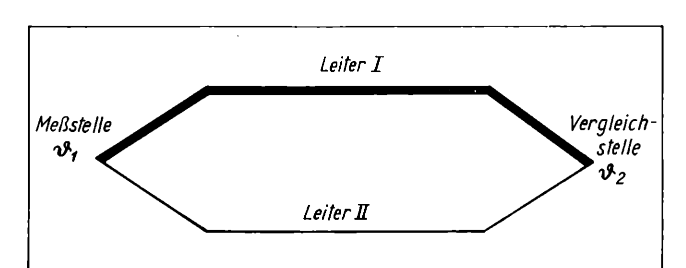


Bild 1. Thermoelektrischer Grundstromkreis

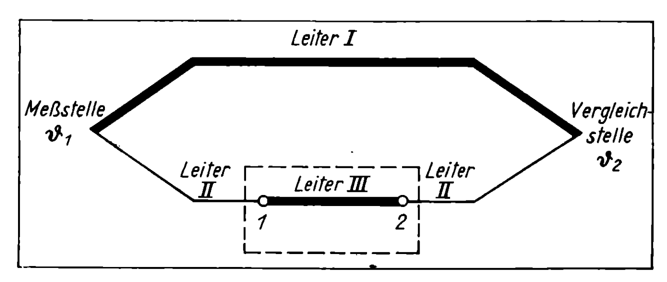


Bild 2. Thermoelektrischer Grundstromkreis mit Zwischenleiter

Bild 3. Thermokreis mit aufgetrenntem Thermoschenkel

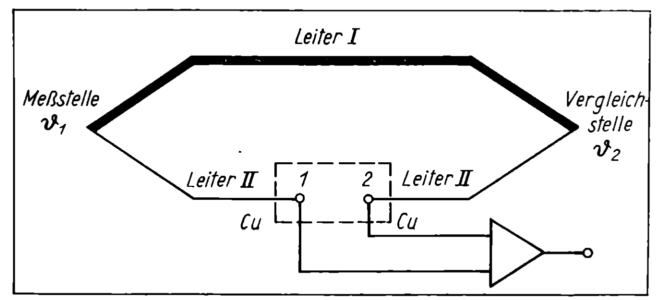
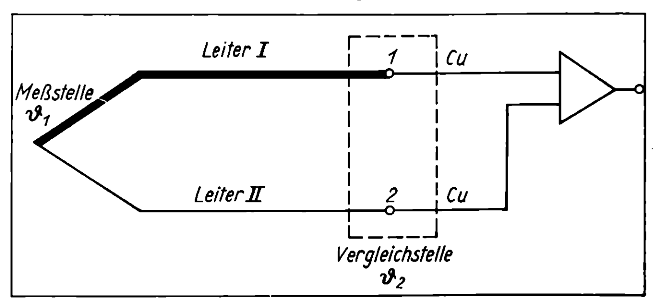


Bild 4. Thermokreis mit aufgetrennter Vergleichstelle



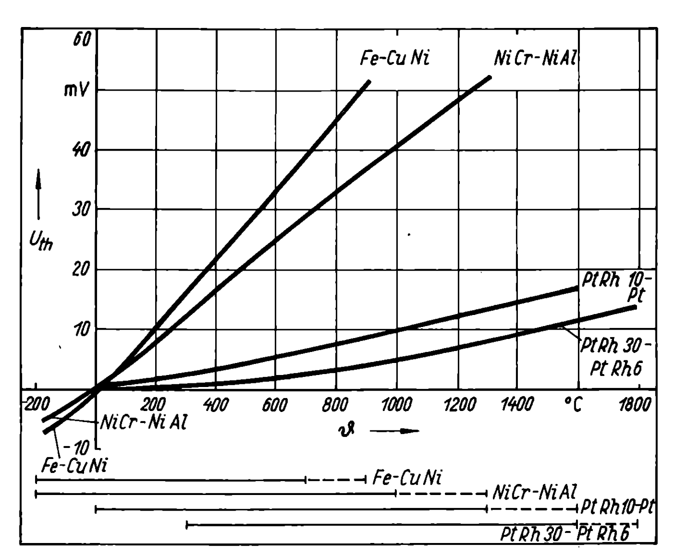


Bild 5. Kennlinien und Einsatztemperaturbereiche der gebräuchlichen Thermoelemente

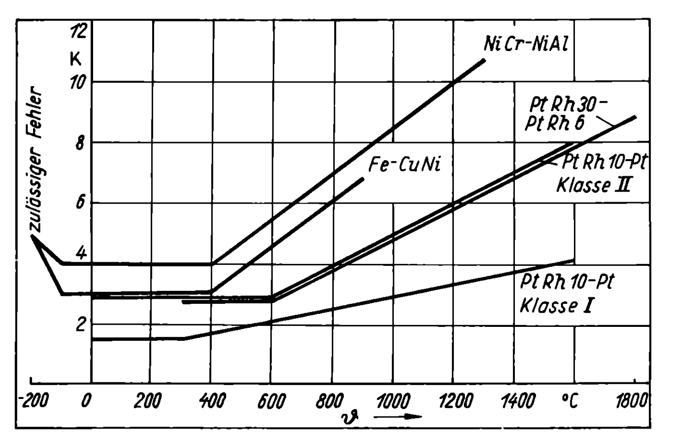


Bild 6. Zulässige Toleranzen der Thermoelemente nach Bild 5

Die Umrüstung durch den Thermoelement-Hersteller auf die veränderten Grundwertreihen NiCr-Ni und Fe-Co ist gegenwärtig noch nicht vollständig abgeschlossen. Es werden z. Z. noch Thermoelemente nach TGL 0-43710 hergestellt.
Bild 5 zeigt die Thermospannungen in Abhängigkeit von der Temperatur. In diesem Bild sind auch die zulässigen Meßbereiche laut TGL unterhalb der Temperaturachse aufgetragen. Innerhalb der gestrichelt gezeichneten Temperaturbereiche ist nur Kurzzeitbetrieb zulässig.
Alle Thermoelemente weisen eine nichtlineare Abhängigkeit der Thermospannung von der Temperatur auf. Die Grundwertreihen beziehen sich auf eine Vergleichstellentemperatur von 0 °C. Wird bei einem Meßaufbau eine andere Vergleichstellentemperatur verwendet, so sind die zugehörigen Grundwerte auf diese Vergleichstellentemperatur umzurechnen. Das geschieht folgendermaßen:
Man ermittelt die der Vergleichstellentemperatur zugeordnete Thermospannung aus der entsprechenden Grundwertreihe für 0 °C. Diese Spannung subtrahiert man von allen ursprünglichen Grundwerten, und man erhält die neue Grundwertreihe, die auf die gewünschte Vergleichstellentemperatur bezogen ist. Es führt zu Fehlern, wenn man entsprechend der Grundwertreihe für 0 °C der Thermospannung eine Temperatur zuordnet und die Vergleichstellentemperatur addiert.
Im Bereich 0 ... 60 °C folgt die Thermospannung der Temperatur bei den gebräuchlichen Thermoelementen nahezu linear. Bei von 0 °C abweichender Vergleichstellentemperatur kann die gesuchte Grundwertreihe nach (1) berechnet werden:

$$E(\vartheta)/\vartheta_V = E(\vartheta)/0\ °C - k\vartheta_V\,. \quad (1)$$

ϑ_V Vergleichstellentemperatur, $E(\vartheta)/\vartheta_V$ Grundwertreihe bei Vergleichstellentemperatur ϑ_V; $E(\vartheta)/0$ °C Grundwertreihe bei Vergleichstellentemperatur 0 °C;

$$k = \begin{cases} 0{,}052 \text{ mV/K für Fe-CuNi} \\ 0{,}040 \text{ mV/K für NiCr-NiAl} \\ 0{,}006 \text{ mV/K für Pt10\%Rh-Pt} \end{cases}$$

Laut TGL sind Abweichungen von den Grundwertreihen zugelassen. Bild 6 zeigt die möglichen Toleranzen in K für die in der DDR angebotenen Paarungen.
Aufgrund von Gefügeänderungen innerhalb der Thermoschenkel, die sich infolge des Einwirkens hoher Temperaturen, aggressiver Medien u. a. Einflüsse vollziehen können, driftet eine Thermoelementkennlinie innerhalb des zulässigen Toleranzbandes oder darüber hinaus.
Nähere Angaben dazu sind in [2] und [5] zu finden. Nach [2] sind Thermoelemente, die vor aggressiven Medien geschützt sind, im Temperaturbereich unter 200 °C sehr stabil. Wenn ein Thermokreis frei von fehlerverursachenden EMK ist und die Vergleichstellentemperatur sorgfältig konstant gehalten wird, sind hohe Meßgenauigkeiten möglich. Dieser Fall ist praktisch gegeben, wenn Thermodrähte einer Charge verwendet werden.
Insbesondere dann, wenn Meßstellentemperatur und Vergleichstellentemperatur gleich sind, hat die Thermospannung einen Nulldurchgang, und die erreichbare Meßgenauigkeit ist allein abhängig von der Konstanz der Vergleichstellentemperatur und der Empfindlichkeit des Auswertegerätes.
In der Betriebsmeßtechnik sind häufig Meßstelle, Vergleichstelle und Auswerteeinheit räumlich weit voneinander entfernt. Zwischen Meßstelle und Vergleichstelle muß Thermodraht verlegt werden. Um aus ökonomischen Gründen mit möglichst wenig Thermodraht auszukommen und um den Gesamtwiderstand des Meßkreises in bestimmten Grenzen halten zu können, wurden sogenannte Ausgleichleitungen eingeführt. Dabei handelt es sich um Paare aus Legierungen, die im Bereich 0 ... 200 °C annähernd die gleichen thermoelektrischen Eigenschaften haben wie die zugehörigen Thermoschenkel. Bild 7 zeigt die entsprechende Anordnung.
Für das Thermoelement Fe-CuNi bestehen Thermoschenkel und Ausgleichleitung aus den gleichen Materialien. Für die Paarungen NiCr-NiAl und Pt10%Rh-Pt werden die Ausgleichleitungen aus Sonderlegierungen gefertigt.
Ausgleichleitungen sind farbig gekennzeichnet. Für Fe-CuNi haben sie die Kennfarbe Blau, für NiCr-NiAl die Kennfarbe Grün und für Pt10%Rh-Pt die Kennfarbe Weiß.
Bei den Materialkombinationen NiCr-NiAl und Pt10%Rh-Pt entstehen aufgrund verschiedenartiger zusammentreffender Materialien an den Klemmstellen 3 und 4 Thermospannungen. Diese heben sich gegenseitig auf, wenn beide Punkte auf gleicher Temperatur liegen.
Das Thermoelement Pt30%Rh-Pt6%Rh hat im Bereich 0 ... 200 °C eine solch geringe Thermospannung (Bild 8), daß die Vergleichstellentemperatur in der Betriebsmeßtechnik nicht berücksichtigt wird. Für dieses Thermopaar gibt es keine Ausgleichleitung.

3. Fehlerquellen

In [6] findet man eine Aufstellung häufig auftretender Fehler. Behandelt werden u. a. folgende Auswirkungen:

- Temperaturgefälle längs Zwischenleiterverbindungen
- falsche Kombination von Thermopaar und Ausgleichleitung

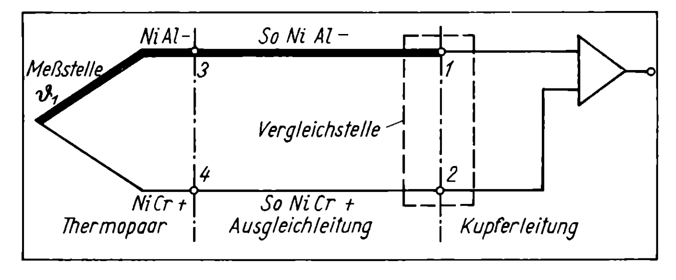


Bild 7. Thermokreis mit eingeschalteter Ausgleichleitung

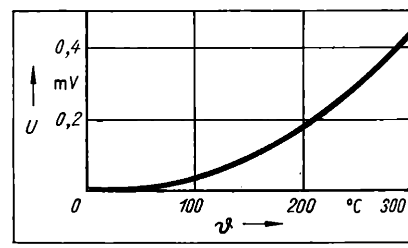


Bild 8. Kennlinie des Platinthermoelementes PtRh 30%—PtRh 6% im unteren Temperaturbereich

— beiderseitige Falschpolung der Ausgleichleitung
— Vorhandensein galvanischer Elemente im Thermokreis.

Die entstehenden Meßfehler betragen teilweise mehr als 100%.
Bei einem fertig installierten Meßkreis kann man sehr einfach überprüfen, ob die richtige Ausgleichleitung verwendet, und sie richtig angeschlossen wurde. Bei Veränderung der Klemmtemperatur zwischen Ausgleichleitung und Thermopaar darf sich die Anzeige bei konstanter Meßstellentemperatur nicht oder nur wenig ändern.
Wenn Salzdämpfe und Feuchtigkeit auf Klemmstellen einwirken, können galvanische Elemente im Thermokreis entstehen. Obwohl diese Spannungsquellen niederohmig kurzgeschlossen werden, kann es, bedingt durch die geringen Thermospannungen, zu erheblichen Meßfehlern kommen.
Galvanische Elemente werden auch dann in den Thermokreis eingefügt, wenn Lötstellen unter Verwendung säurehaltiger Flußmittel hergestellt werden. Als Flußmittel für Zinnlot ist ausschließlich Kolophonium zu verwenden.

Literatur

[1] Thermodrähte. Prospekt. VEB Walzwerk Hettstedt 1965.
[2] *von Körtvelyessy, L.*: Thermoelement Praxis Essen: Vulkan-Verlag Dr. W. Classen Nachf. GmbH & Co KG 1981.
[3] *Schild, D.; Trommer, M.*: Digitalthermometer mit Mikrorechner. radio — fernsehen — elektronik, Berlin 33 (1984) 2, S. 67 und 68.
[4] *Scharlipp, M.*: Hauptkennwerte und Prüfverfahren für Widerstandsthermometer und Thermoelemente im RGW vereinheitlicht. msr, Berlin 22 (1979) 12, S. 662—667.
[5] *Lieneweg, F.*: Technische Temperaturmessung. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH 1976.
[6] *Hunsinger, W.*: Temperaturmessung mit Thermoelementen. Archiv für Technisches Messen. März/April 1958. J 2402-2/3.
[7] TGL 39440. Metrologie, Arbeitsthermoelemente, Allgemeine technische Forderungen.
[8] TGL 0-43710. Elektrische Temperaturmeßgeräte, Thermoelemente, Thermospannungen und Werkstoffe der Thermopaare.
[9] *Weichert, L.*: Temperaturmessungen in der Technik. Grafenau: expert Verlag GmbH 1981.
[10] *Hunsinger, W.*: Temperaturmessung mit Thermoelementen. Handbuch der Physik, Bd. 23. Berlin: Springer-Verlag 1967.

msr 8036

A. Kirste[1])

Regelkreisstrukturen einer elektromechanisch-hydraulischen Stelleinrichtung zum Lenken des Radtraktors K-700 und ihre gerätetechnische Realisierung

0. Einleitung

Die automatische Lenkung von Traktoren und anderen landwirtschaftlichen Aggregaten ermöglicht neben einer Entlastung des Fahrers oder des Verzichts auf ihn eine Verbesserung des Anschlußfahrens, d. h. eine optimale Ausnutzung der Arbeitsbreite und eine gegenüber der Handlenkung höhere Arbeitsgeschwindigkeit [1]. Bei der praktischen Ausführung einer solchen Lenkung bereitet neben der Schaffung einer Meßeinrichtung für Abweichungen vom Sollkurs die Realisierung der erforderlichen Stelleinrichtung, die den Lenkeinschlag der Räder bewirkt, den größten Aufwand. Da die für eine automatische Lenkung in Frage kommenden Traktoren und Aggregate unterschiedliche Lenkungsarten (Achsschenkellenkung, Knicklenkung) und unterschiedliche hydrostatische Handlenksysteme haben [2], muß die Stelleinrichtung speziell an das betreffende automatisch zu lenkende Fahrzeug angepaßt werden. Der Aufbau einer solchen Stelleinrichtung für den sowjetischen knickgelenkten Radtraktor K-700 soll im folgenden unter dem Gesichtspunkt möglicher Regelkreisstrukturen beschrieben werden.

1. Die Regelstrecke der Stelleinrichtung

1.1. *Allgemeines*

Der Traktor K-700 (einschließlich Nachfolgetypen K-700A, K-701 und der Typ T-150 K) ist knickgelenkt und daher mit einer im Vergleich zu anderen Fahrzeugen leistungsstarken Lenkhydraulikanlage ausgerüstet. Der Nennförderstrom der Hydraulikpumpe beträgt 72 l/min bei einem eingestellten Maximaldruck von 10 MPa. Aufgrund dieser Voraussetzungen ist die bei anderen Stelleinrichtungen für die Lenkung praktizierte Methode des Parallelschaltens entweder eines Dreiwegeventils oder eines Servoventils (Proportionalventil) zum Handlenkaggregat problematisch, da im ersten Fall wegen der drei ausschließlich möglichen Stellgeschwindigkeiten $-v_{max}$, 0, $+v_{max}$ die etwa gleichgroßen Massen des knickgelenkten Traktors unzumutbaren Beschleunigungen ausgesetzt sind und im anderen Fall ein relativ großes Servo- oder Proportionalventil eingesetzt werden müßte. Da das Handlenkaggregat des K-700 ebenso wie andere bisher übliche Handlenkaggregate Ventile mit in Neutralstellung freiem Öldurchfluß enthalten, die in Verbindung mit einer als Stromquelle wirkenden Ölpumpe arbeiten, würde außerdem bei einem in Mittelstellung geschlossenem Servoventil eine nicht vertretbare Verlustleistung auftreten. Ein weiteres Problem am K-700 besteht darin, daß das Handlenkaggregat eine mechanische Rückführung enthält. Das Lenkrad würde sich während des Automatikbetriebs ständig mitdrehen und die Arbeitssicherheit gefährden.
Aus diesen Gründen wurde für den K-700 eine solche Lösung ausgewählt, bei der das serienmäßige Handlenkaggragat des Traktors auch beim Automatikbetrieb genutzt wird [2]. Dabei erfolgt der Antrieb von einem Gleichstromstellmotor über die Lenkspindel. Insbesondere aus Gründen des Arbeitsschutzes wird dabei das Lenkrad mechanisch entkuppelt, während der Stellmotor elektromechanisch eingekuppelt wird. Ein zwischengeschaltetes Getriebe sorgt dafür, daß das maximal erforderliche Lastmoment aufgebracht werden kann und die Trägheitsmomente der Getriebeseiten gleichmäßig verteilt sind, um die größtmögliche Beschleunigung der Lenkspindel zu ermöglichen.

1.2. *Handlenksystem des K-700*

Regelungstechnisch erweist sich die statische Kennlinie des Ventils im Handlenkaggregat als sehr ungünstig, da sie eine wesentliche Nichtlinearität enthält (Bild 1a). Durch die Unterdeckung des Steuerschiebers, die den annähernd drucklosen Ölumlauf in Neutralstellung ermöglicht, erfolgt erst bei einer größeren Auslenkung s_V des Steuerschiebers ein Ölstrom $\dot{V}$ zum Verbraucher, den Arbeitszylindern der Knicklenkung. Messungen haben ergeben, daß die Kennlinie i. allg. unsymmetrisch bezüglich des Nullpunktes (Neutralstellung) und des maximalen Übertragungsfaktors ist. Weiterhin ist sie exemplarabhängig. Außerdem wird sie durch die Öltemperatur und den Verschleißzustand beeinflußt. Im übrigen gilt sie nur für einen bestimmten Verbraucherdruck; nimmt dieser zu, geht der Ölstrom zurück.
An das Handlenkaggregat sind die Arbeitszylinder angeschlossen. Sie sind als I-Glied mit dem Ölstrom $\dot{V}$ als Eingangsgröße und dem Knickwinkel β des Traktors als Ausgangsgröße aufzufassen (Bild 1a). Der Knickwinkel β ist gleichzeitig die Regelgröße der Stelleinrichtung. Er wird mechanisch über ein Gestänge als Weg s_R auf das Handlenkaggregat zurückgeführt und mit dem axialen Weg der Lenkschnecke s_L, mit dem diese sich beim Drehwinkel der Lenkspindel α_L gegenüber dem mit dem Rückführgestänge verbundenen Schneckenradsegment verschiebt, verglichen. Diese Wegdifferenz ist mit der Auslenkung s_V des Steuerschiebers identisch. Mechanisches Spiel, insbesondere zwischen Schneckenrad und -segment, bewirkt in der Rückführung ein Übertragungsverhalten mit Lose.
Der Steuerschieber wird durch Zentrierfedern in Mittelstellung $s_V = 0$ gehalten. Um eine Auslenkung zu bewirken, muß an der Lenkspindel ein Lenkmoment M_L aufgebracht werden. Auch diese Kennlinie ist wegen der Federvorspannung nichtlinear, und wegen Coulombscher Reibung tritt eine Umkehrspanne auf. Durch im Handlenkaggregat angeordnete und mit dem Pumpendruck beaufschlagte Kolben ist das Lenkmoment außerdem vom Verbraucherdruck, also der Größe des Lenkwiderstands abhängig.

[1]) Dipl.-Ing. *Andreas Kirste* (40) studierte von 1961 bis 1964 Landtechnik an der IS Berlin-Wartenberg. Ab 1966 am Institut für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen der Humboldt-Universität zu Berlin tätig, das 1969 von der neugegründeten IHS Berlin-Wartenberg übernommen wurde. Von 1969 bis 1973 Fernstudium Technische Kybernetik und Automatisierungstechnik an der TU „Otto von Guericke" Magdeburg. 1974 Dipl.-Ing. Derzeit wissenschaftlicher Assistent an der IHS Berlin-Wartenberg, Sektion Mechanisierung der Pflanzenproduktion, WB Automatisierung.

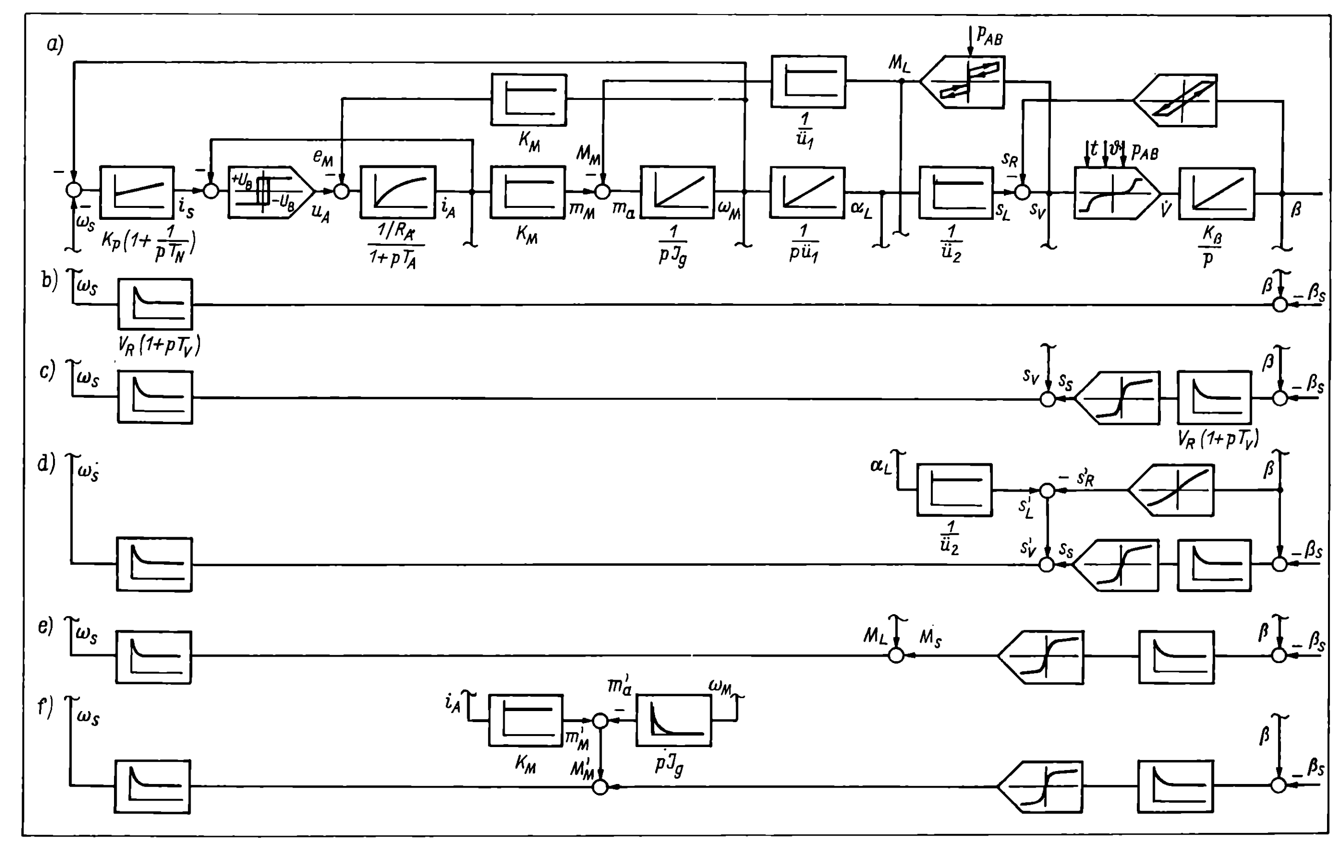


Bild 1. Signalflußbild der elektromechanisch-hydraulischen Stelleinrichtung mit unterschiedlichen Varianten der Regelkreisstruktur

a) Regelstrecke; b) einschleifige Regelung; c) Kaskadenregelung mit Steuerschieberweg als Hilfsregelgröße; d) Kaskadenregelung mit Lenkspindelwinkel als zusätzliche Meßgröße; e) Kaskadenregelung mit Lenkspindelmoment als Hilfsregelgröße; f) Kaskadenregelung unter Berücksichtigung von Motorstrom und -winkelgeschwindigkeit

ω_M, ω_s Stellmotorwinkelgeschwindigkeit, ... Sollwert; i_A, i_s Motorstrom, ... Sollwert; u_A Motorspannung; e_M Gegen-EMK; m_M, m'_M Motormoment, ..; Ersatzgröße; M_M, M'_M, M_s Motorlastmoment, ... Ersatzgröße, ... Sollwert; m_a, m'_a, Beschleunigungsmoment, ... Ersatzgröße; M_L, M_S Lenkspindelmoment,... Sollwert; α_L Winkel Lenkspindel; s_L, s'_L Weg Lenkspindel,... Ersatzgröße; s_R, s'_R Rückführweg,... Ersatzgröße; s_V, s'_V, s_s Steuerschieberweg,... Ersatzgröße, ... Sollwert; $\dot{V}$ Ölvolumenstrom; p_{AB} Verbraucherdruck; β, β_s Knickwinkel, ... Sollwert; $ü_{1,2}$ Getriebeübersetzungen; J_g motorbezogenes Gesamtträgheitsmoment; K_M Motorkonstante

1.3. *Der elektromechanische Stellantrieb*

Als Stellmotor wurde unter der Voraussetzung eines 24-V-Bordnetzes der Gleichstromstellmotor HSM 150 mit eisenlosem Glockenläufer und 24-Nennspannung ausgewählt. Mechanisch ist der Motor über ein zweistufiges Stirnradgetriebe mit der Übersetzung $i \approx 60:1$ und über eine beim Automatikbetrieb elektromagnetisch eingekuppelte Lamellenkupplung mit der Lenkspindel verbunden. Die erreichbare Lenkspindeldrehzahl liegt bei $1\ s^{-1}$. Zur Ansteuerung des Stellmotors und zu seiner Drehzahlregelung dient ein modifizierter Transistorpulssteller TPS 20A vom VEB Numerik Karl-Marx-Stadt, der mit 20 A Spitzenstrom auf den o. g. Stellmotor zugeschnitten ist [3]. Der Pulssteller bildet mit dem Stellmotor einen Folgeregelkreis mit der Winkelgeschwindigkeit ω_s als Führungsgröße und der Winkelgeschwindigkeit ω_M des Stellmotors als Regelgröße. Durch die unterlagerte Zweipunktregelung des Motorstroms i_A wird das Umschalten der im Betrieb etwa 29 V betragenden Bordspannung u_A mit Hilfe einer Transistorbrückenschaltung bestimmt. Wegen der hohen Pulsfrequenz der unterlagerten Zweipunktregelung kann der Drehzahlregelkreis als linear angesehen werden. Als Störgröße M_M wirkt auf den Stellmotor das um den Faktor der Getriebeübersetzung $ü$ verminderte Lenkspindelmoment M_L.

1.4. *Struktur der Regelstrecke*

Der Drehzahlregelkreis hat T_2-Verhalten. Die Lenkung einschließlich des Handlenkaggregats weist durch die starre Rückführung prinzipiell T_1-Verhalten auf, jedoch sind die Zeitkonstante und der (zeitliche) Übertragungsfaktor sehr von den Nichtlinearitäten abhängig. Außerdem hat die Strecke durch die integrale Abhängigkeit des Lenkspindelwinkels α_L von der Stellmotordrehzahl ω_M I-Verhalten.

2. Geschlossener Regelkreis

2.1. *Einschleifiger Regelkreis*[2])

Ein einschleifiger Folgeregelkreis mit dem Knickwinkel β als Regelgröße und der Stellmotorwinkelgeschwindigkeit ω_s (Sollwert) als Stellgröße sowie einem P- oder PD-Regler ist praktisch nicht einsetzbar (Bild 1b). Wegen der nichtlinearen Kennlinie des Steuerschiebers im Handlenkaggregat wird bei geringer Aussteuerung keine oder nur eine niedrige Kreisverstärkung in dem durch das Handlenksystem gebildeten internen Regelkreis erreicht. Das überträgt sich auf den Folgeregelkreis, so daß auch hier nur eine geringe Verstärkung einstellbar ist, wenn nicht an den Grenzen des Steuerschieberaussteuerbereichs die Stabilitätsgrenze überschritten werden soll. Durch die geringe einstellbare Verstärkung reagiert der einschleifige Folgeregelkreis zu langsam.

2.2. *Gesteuerter Ölstrom als Hilfsregelgröße*

Das dynamische Verhalten des Folgeregelkreises kann i. allg. durch Verwendung einer Hilfsregelgröße verbessert werden. Die Aufschaltung des durch den Steuerschieber im Handlenkaggregat gesteuerten Ölstroms als Hilfsregelgröße kann aber die Dynamik kaum wesentlich verbessern, da diese Größe dynamisch gesehen praktisch am Ende der Regelstrecke liegt und sie sich nur durch unwesentliche Störungen, z. B. Kompression/Expansion der Arbeitszylinderfüllung durch wechselnde äußere Kräfte, von der zeitlichen Ableitung des Knickwinkels unterscheidet. Dieser Regelkreisstruktur widerspricht auch die zur Zeit fehlende Möglichkeit zur Messung des Ölstroms mit bipolarer Kennlinie ohne wesentliche dynamische Meßfehler und bei vollem Betriebsdruck.

2.3. *Weg des Steuerschiebers als Hilfsregelgröße*

Die regelungstechnisch günstigste Variante für eine Hilfsregelgröße ist der Steuerschieberweg s_V des Handlenkaggregats. Dazu muß am Ausgang des P- oder PD-Hauptreglers ein nicht-

[2]) Die innerhalb der Regelstrecke vorhandenen Rückführungen bleiben hierbei unberücksichtigt.

lineares Übertragungsglied mit einer statischen Kennlinie eingesetzt werden, das gegenüber der Ventilkennlinie des Handlenkaggregats ein inverses Verhalten hat (Bild 1c). Bei guter inverser Anpassung der nichtlinearen Kennlinien ergibt sich unabhängig von der Aussteuerung eine konstante Verstärkung im Hauptregelkreis. Der Hilfsregelkreis mit der (Hilfs-)regelgröße Steuerschieberweg und P- oder PD-Regler kann eine hohe Kreisverstärkung aufweisen. In der Praxis wird die Dynamik dabei jedoch durch die maximal mögliche Stellmotordrehzahl begrenzt. Dies wirkt sich insbesondere bei kleiner Ventilaussteuerung aus, da der dort kleine Übertragungsfaktor des Ventils nur durch relativ größere Steuerschieberwege und Stellmotordrehzahlen ausgeglichen werden kann.
Dieser Variante stehen exemplarabhängige Unterschiede in den statischen Kennlinien typgleicher Handlenkaggregate und zeitabhängige Änderungen entgegen. Weiterhin würde die Wegmessung Eingriffe und konstruktive Änderungen am Handlenkaggregat erfordern.

2.4. *Lenkspindelwinkel als zusätzliche Meßgröße*

Ohne einen Eingriff in das Handlenkaggregat kann der Lenkspindelwinkel α_L gemessen werden. Aus der Differenz zwischen ihm und dem Knickwinkel β ist der Steuerschieberweg s_V bestimmbar, wenn beide Größen entsprechend bewertet werden. Der Steuerschieberweg kann dann, wie unter Abschn. 2.3. genannt, als Hilfsgröße genutzt werden (Bild 1d). Bei diesem Meßverfahren wirken sich jedoch Unterschiede zwischen der real nicht exakt linearen Kennlinie des Rückführungsgliedes und der nachgebildeten Kennlinie voll als Fehler aus, die beim jeweiligen Knickwinkel β unterschiedlich sein werden.

2.5. *Lenkspindelmoment als Hilfsregelgröße*

Ebenfalls ohne Eingriff in das Handlenkaggregat ist das Lenkspindelmoment M_L meßbar. Die dynamischen Verhältnisse eines mit dieser Hilfsregelgröße gebildeten Regelkreises entsprechen etwa denen des Regelkreises mit dem Steuerschieberweg als Hilfsregelgröße. Beide Hilfsregelgrößen sind durch eine nichtlineare statische Kennlinie miteinander verknüpft (s. auch Abschn. 1.2.), wobei jedoch Coulombsche Reibung und Lenkwiderstände den Zusammenhang stören. Ein gegenüber der Kennlinie $\dot{V} = f(M_L)$ inverses nichtlineares Übertragungsglied ist auch hier an den Ausgang des Hauptreglers zu schalten (Bild 1e).

2.6. *Motorstrom und -winkelgeschwindigkeit als Meßgrößen*

Zwecks Einsparung der Meßstelle für das Lenkspindelmoment können ersatzweise die bereits im Pulssteller gemessenen Größen Motorstrom i_A und Motorwinkelgeschwindigkeit ω_M zur Bildung der Hilfsregelgröße Lenkspindelmoment M_L' herangezogen werden. Unter stationären Bedingungen ist der Motorstrom dem Motor- bzw. Lenkspindelmoment proportional. Bei Beschleunigung und Verzögerung des Stellmotors und der mit ihm verbundenen Getriebeteile einschließlich Lenkspindel ist das Lenkspindelmoment M_L um den Beschleunigungsanteil $m_{La} = \omega_M \cdot J_g \cdot \ddot{u}$ kleiner als das im Motor erzeugte und auf die Lenkspindel transformierte Moment $m_L = \ddot{u} \cdot m_M$. In den Gleichungen stellen $\ddot{u}$ die Getriebeübersetzung und J_g das auf die Motorwelle bezogene Gesamtträgheitsmoment dar. Die Signalverarbeitung zur Bildung der Hilfsregelgröße erfordert demnach neben der Berücksichtigung der Übertragungsfaktoren eine Differentiation der Motorwinkelgeschwindigkeit und eine Differenzbildung (Bild 1f).

3. Gerätetechnische Realisierung

3.1. *Messung der Regelgrößen*

Unabhängig von der Art der Signalverarbeitung wurden für die Knickwinkelmessung und die Messung des Steuerschieberwegs Differentialtransformatoren des Typs I3b eingesetzt. Während bei analoger Signalverarbeitung die Sekundärspannung ausgewertet wird, dient bei digitaler Verarbeitung eine der Sekundärspulen innerhalb eines Schwingkreises als veränderliche Induktivität zur Beeinflussung der Schwingungsfrequenz. Die Messung des Lenkspindelwinkels erfolgt zweckmäßig inkremental mit zwei Initiatoren, um die Drehrichtungen unterscheiden zu können. Diese Messung wurde aus eingangs genannten Gründen nicht realisiert. Zur direkten Messung des Lenkspindelmoments wurden auf der Lenkspindel Halbleiter-Dehnungsmeßstreifen appliziert, die über Schleppkabel angeschlossen sind. Die Motorstrommessung erfolgt innerhalb des Transistorpulsstellers über Meßwiderstände im Motorstromkreis. Zur Drehzahlmessung ist der Stellmotor mit einem Gleichstromtachometergenerator gekuppelt.

3.2. *Analoge Signalverarbeitung*

Der einschleifige Regelkreis und die Regelkreise mit den Hilfsregelgrößen Steuerschieberweg und Lenkspindelmoment wurden mit analogen Reglern aufgebaut. Das inverse nichtlineare Übertragungsglied wurde durch einen Diodenfunktionsgenerator realisiert. Die Schwierigkeit bestand in der Anpassung der inversen Kennlinie an die zu invertierende Kennlinie, die dazu genau zu bestimmen war. Nach Wechsel des Handlenkaggregats war eine Neueinstellung erforderlich.

3.3. *Digitale Signalverarbeitung*

Der Grundgedanke beim Übergang zur digitalen Signalverarbeitung mittels Mikrorechners liegt in der Möglichkeit einer selbsttätigen Anpassung des Hauptreglers an die konkrete nichtlineare Kennlinie des Handlenkaggregats durch Vergleiche zwischen dem erwarteten Übertragungsverhalten von Hilfsregelgröße und Regelgröße einerseits und dem tatsächlichen Verhalten andererseits. Dabei ist es möglich, eine anfangs programmierte mittlere nichtlineare Kennlinie der tatsächlichen anzugleichen.
Als Schnittstellen des Mikrorechners zu analogen Signalen wurden die Regelgröße Knickwinkel, die Hilfsregelgröße Lenkspindelmoment und der Sollwert Stellmotorwinkelgeschwindigkeit gewählt, wobei die Hilfsregelgröße analog aus dem Motorstrom und dem Istwert der Stellmotorwinkelgeschwindigkeit gebildet wird. Es wurde vorausgesetzt, daß die Führungsgröße Knickwinkel digital vorliegt.
Bei der frequenzanalogen Abbildungsgröße des Knickwinkels erfolgt eine Periodendauermessung mittels zweier kaskadierter Kanäle eines CTC-Schaltkreises, wobei als Zeitnormal die halbe Taktfrequenz des Rechners ($\triangleq T_N \approx 0{,}8\ \mu s$) dient. Ein dritter CTC-Kanal dient zur Anmeldung eines Interrupts nach Ablauf des Zählvorgangs. Der Hardware-Aufwand, ausgelegt für zwei frequenzanaloge Eingänge, besteht in drei D-FF, zwei NAND-Gattern und vier Invertern sowie zwei für die Funktion der Schwingkreise erforderlichen Schaltkreisen A 301 (Bild 2).
Zur A/D-Wandlung des Lenkspindelmoments kommt wegen der erforderlich kleinen Umsetzzeit praktisch nur das Verfahren der sukzessiven Approximation in Betracht, wobei 8 bit als Datenwortbreite ausreichend sind (monolithisch integriert C 570).
Die D/A-Wandlung des Ausgangssignals, des Sollwerts der Stellmotorwinkelgeschwindigkeit, wird aus ökonomischen Grün-

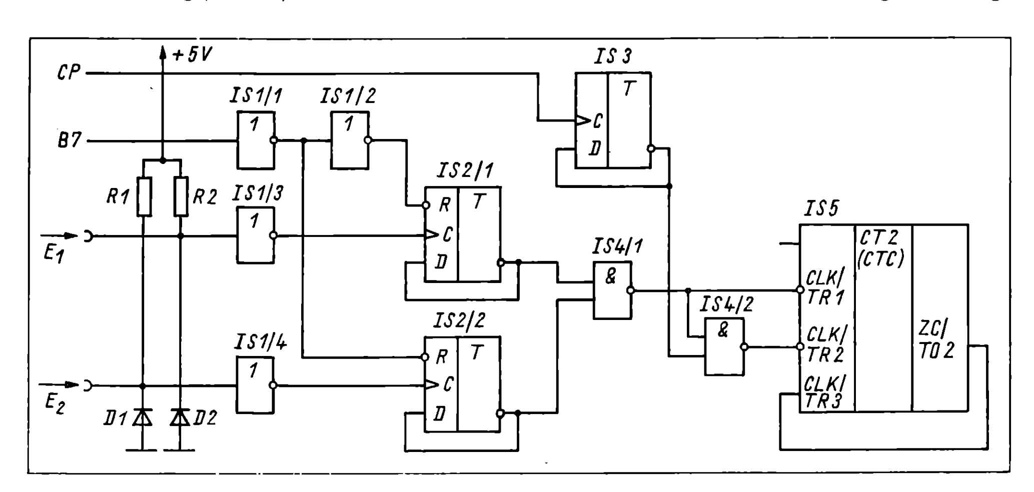


Bild 2. Mikrorechnerperipherie zur Messung der Periodendauer zweier frequenzanaloger Signale (Knickwinkel β und Weg eines mechanischen Tasters zur Leitlinie des Traktors)

E_1, E_2 Anschluß für Winkelmeßfühler mit L-C-Schwingkreis und Schaltkreis A 301; B7 PIO-Anschluß zur Umschaltung der Meßkanäle; CP Rechnertakt als Zeitbasis; CTC Zähler-Zeitgeber-Schaltkreis mit Kanal 1 für Interrupt und Kanal 2/3 als Zeitzähler

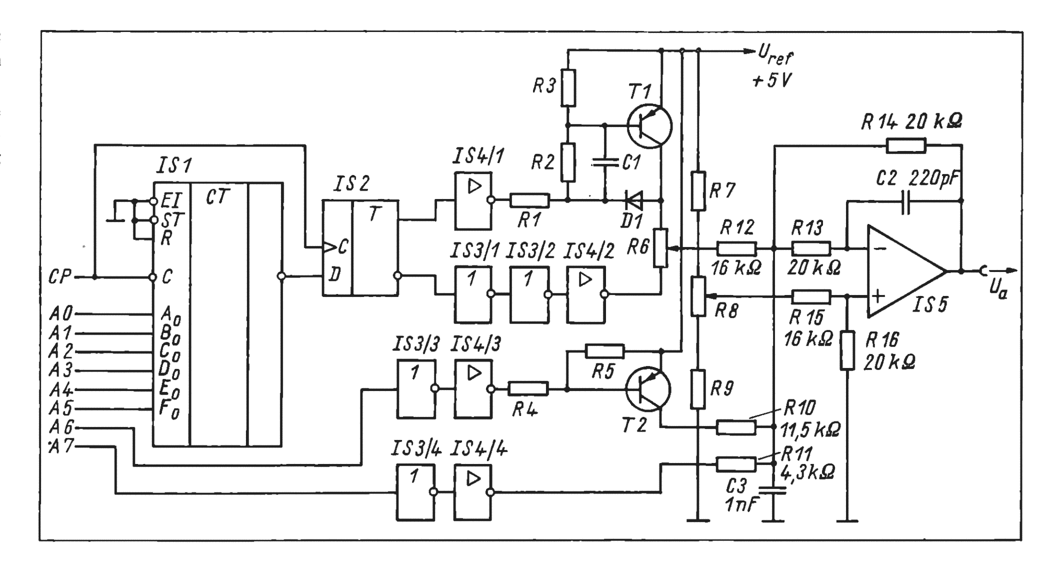


Bild 3. Serien-D/A-Wandler für 192 Umsetzstufen mit programmierbarem Teilerschaltkreis 7497

CP Rechnertakt; A0 ... A7 Ausgänge eines PIO-Ports; U_a Ausgangsspannung −9,6 V ... +9,5 V, Auflösung 0,1 V

den mittels eines Serien-D/A-Wandlers realisiert (Bild 3). Der Wandler basiert auf dem (mit Hilfe eines PIO-Ports) programmierbaren 6-bit-Teilerschaltkreis 7497, der mit der Taktfrequenz des Rechners angesteuert wird. Beim Teilerverhältnis 32:64 stellt sich am Ausgang eines nachgeschalteten Tiefpasses die Spannung Null ein. Durch Nutzung der beiden restlichen Pins des PIO-Ports läßt sich die Ausgangsspannung um jeweils einen 6-bit-Wertebereich in Richtung positiver oder negativer Spannungen verschieben, so daß der gesamte Wertevorrat $m = 192$ beträgt und eine ausreichende Auflösung gewährleistet ist. Die Einstellzeit des Tiefpasses ist mit etwa 30 µs ausreichend klein. Neben dem Teilerschaltkreis gehören zur Hardware-Lösung ein D-FF, acht Inverter, zwei pnp-Schalttransistoren und ein OP-Verstärker.

Zusammenfassung

Die elektromechanisch-hydraulische Stelleinrichtung für die automatische Lenkung des Traktors K-700 verwendet das serienmäßige hydraulische Handlenkaggregat mit dem in Neutralstellung offenen Steuerschieber, der bei automatischem Betrieb von einem Gleichstromstellmotor in Verbindung mit einem Transistorpulssteller angesteuert wird. Durch fertigungsbedingte Lose in mechanischen Übertragungsgliedern, die Nichtlinearität des hydraulischen Steuerschiebers und störungsabhängige Rückwirkungen des gelenkten Systems ist die Regelstrecke nichtlinear. Nur durch eine der Eingangsgröße des wesentlichen nichtlinearen Übertragungsgliedes proportionale Hilfsregelgröße und ein am Ausgang des Hauptreglers angeordnetes inverses nichtlineares Übertragungsglied läßt sich eine befriedigende Arbeitsweise der Folgeregelung realisieren. Vertretbaren gerätetechnischen Aufwand und eine Anpassung an exemplarabhängige Kennlinien des Steuerschiebers ermöglicht eine digitale Reglerstruktur mit der aus dem Stellmotorstrom und zugehöriger Winkelgeschwindigkeit gebildeten Hilfsregelgröße Lenkspindelmoment.
Es ist vorgesehen, den verwendeten Regelalgorithmus in einem gesonderten Beitrag zu beschreiben.

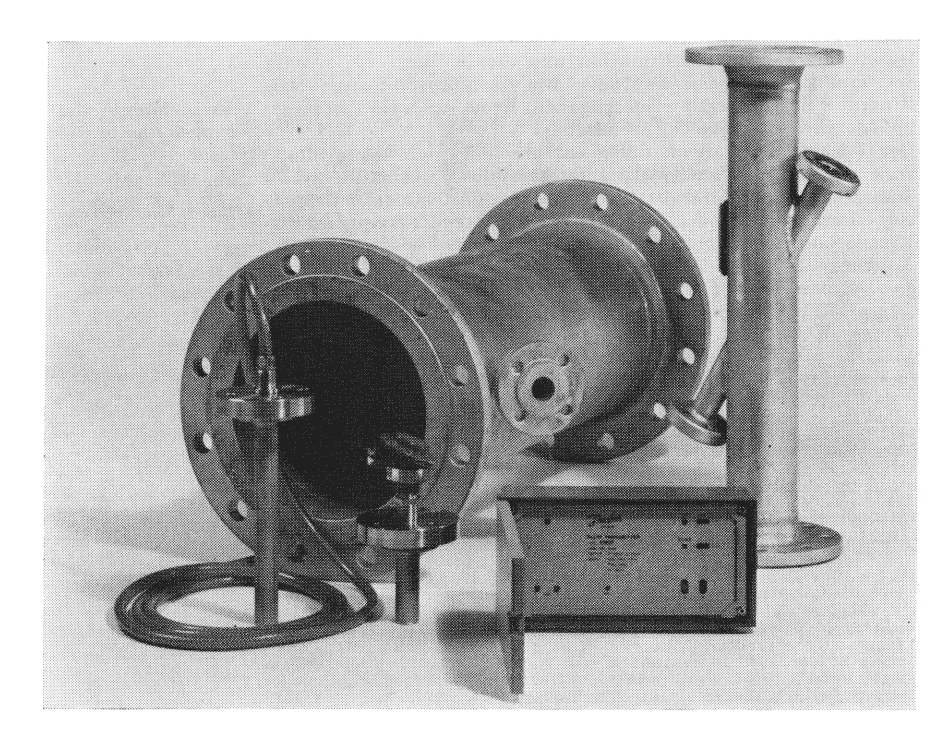
Literatur

[1] *Kollar, L.:* Gründe und Möglichkeiten für die automatische Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate. agrartechnik, Berlin 30 (1980) 3, S. 95–98.
[2] *Kirste, A.:* Elektromechanisch-hydraulische Stelleinrichtung zur automatischen Lenkung mobiler landwirtschaftlicher Aggregate. agrartechnik, Berlin 30 (1980) 3, S. 107–110.
[3] *Schulze, M.:* Transitor-Gleichstrompulssteller für reaktionsschnelle Antriebe kleiner Leistung. Elektrie, Berlin 28 (1974) 7, S. 368–371. msr 8004

Die bekannte dänische Firma Danfoss hat eine Ultraschall-Durchflußmeßeinrichtung auf den Markt gebracht, die für kritische Medien- und Umgebungsbedingungen eine Alternative zur konventionellen Durchflußmeßtechnik bietet. Sie arbeitet nach dem Laufzeit-Differenzverfahren, d. h., es werden Ultraschallsignale in und gegen die Strömungsrichtung gesendet und deren Laufzeiten erfaßt. Die bei Medienströmung auftretende Zeitdifferenz bildet ein Maß für die mittlere Strömungsgeschwindigkeit in der Schallspur.
Bemerkenswerte Eigenschaften der Meßeinrichtung sind u. a.:

- **Keine mechanisch bewegten Teile**
- **Kein Druckverlust im Rohr**
- **Verwendbar für alle Flüssigkeiten, die den Schall ungehindert leiten**
- **Keine Beeinflussung der Messung durch Medienparameter, wie Leitfähigkeit, Druck, Temperatur**
- **Lineares Ausgangssignal, großer dynamischer Bereich**
- **Geeignet für Rohrquerschnitte von DN 10 bis DN 3000**

Es steht ein Ausgangssignal 0 bis 20 mA oder 4 bis 20 mA zur Verfügung, mit dem je nach Meßaufgabe Volumen- bzw. auch Wärmemengenzähler beaufschlagt werden können.



G. Blumauer; O. *Diederich*[1])

Projektierung von Ventilverkettungsstrukturen mit dem ORSTA-Ventilbaukasten „p_n 32"

0. Einleitung

Die derzeitige Entwicklung im Maschinenbau ist einerseits gekennzeichnet durch eine starke Einbeziehung der Mikroelektronik und Robotertechnik, andererseits durch den immer stärkeren Einsatz standardisierter Baugruppen, Kaufteile und wiederverwendbarer Teillösungen sowie durch die problemspezifische Anpassung der Lösung an die gestellte Aufgabe. In der Entwicklung und Konstruktion ist deshalb der sich abzeichnende Trend zur projektierenden Arbeitsweise die Voraussetzung zur Realisierung der gestellten Aufgaben. Dabei werden hydraulische Antriebe u. a. durch ihr günstiges Masse-Leistungsverhältnis, den hohen Standardisierungsgrad und die nicht ortsgebundene aufgabenspezifische Anpaßfähigkeit im Sondermaschinen- und Roboterbau, aber auch allgemein im Maschinenbau bevorzugt angewendet.
Die notwendige Projektierungskapazität für hydraulische Antriebslösungen nimmt expansiv zu, da die aufgabenspezifische Anpassung der Maschinen und Anlagen stets neue Varianten hydraulischer Strukturen erfordert.
Der Projektierungsprozeß für hydrostatische Strukturen ist gekennzeichnet durch langwierige manuelle Routinetätigkeiten (Zeichnen, Schreiben, Archivieren, Sichten), ständig wechselnd mit determinierbaren (Berechnen) und kreativen Tätigkeiten (Entwerfen) [1]. Dabei verursacht der Entwurf von Baustrukturen einen arbeits- und zeitaufwendigen Bearbeitungsabschnitt mit einem hohen Anteil an Routinetätigkeiten.
Der Stand der Projektierung von Baustrukturen wurde in [2] analysiert. Danach ist in der Literatur wenig zur Vorgehensweise bei der Projektierung hydrostatischer Baustrukturen zu finden. Eine Erläuterung speziell zu dem Bauschaltplan enthält [3], die allerdings noch auf dem Ventilbaukasten „p_n 16" des VEB Kombinat ORSTA-Hydraulik (KOH) basiert. Auch der Projektierungspraxis ist eine einheitliche Vorgehensweise und eine eindeutige Definition der Dokumentation für Baustrukturen nicht zu entnehmen.
Allen Industriezweigen ist gemeinsam, daß zu den Dokumenten der Baustruktur die Pläne, Listen und Nachweise zählen, die zur Montage von Ventilverkettungen und der übrigen hydrostatischen Geräte im Aggregat und in der Maschine notwendig sind. Deshalb wurde eine einheitlich anwendbare Fertigungsdokumentation definiert, die in [4] vorgestellt ist. Die Fertigungsdokumentation wird dabei eingeteilt in die Dokumente zur Ventilverkettungsmontage und in jene zur Anlagenmontage.
Der dominierende Plan zur Ventilverkettungsmontage ist der Verkettungsplan (VKP). Er ist die grafische Darstellung der Ventilverkettungsstruktur und dient als Bestellunterlage. Durch ihn werden die Funktion und die bauliche Verkettung der vom Projektanten wahlweise für einen Zusammenbau bestimmten Steuergeräte wiedergegeben. Er ist auch als Unterlage für Instandhaltungsarbeiten nutzbar.
Der Verkettungsplan ist dabei entsprechend den Gestaltungsvorschriften des Ventilverkettungsherstellers auszuführen. Zu ihm gehört eine Geräteliste, die die standardgerechte Bestellbezeichnung der in der Ventilverkettungsstruktur eingesetzten Ventile und Geräte enthält.
An der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt (THK) wurde das System INKO (INteraktives KOnstruieren) zur rechnerunterstützten Konstruktion und Projektierung im Maschinenbau entwickelt. Innerhalb dieses Systems beinhaltet der Programmbaustein INKO-HYDRA (HYDRAulik) den gesamten Projektierungsprozeß hydrostatischer Anlagen vom Weg-Schritt-Diagramm bis zur Stücklistenerarbeitung [5]. Das Programmsystem ermöglicht neben einer hohen Zeiteinsparung auch eine höhere Qualität des Projektes, da subjektive Fehler weitestgehend ausgeschlossen werden und das Archivieren und Sichten von Lösungen problemlos möglich ist. Das Programmsystem ist aber nur beim Vorhandensein der entsprechenden Hardware anwendbar und deshalb mittelfristig für viele Betriebe nicht einsetzbar.
Es werden im folgenden Vorschläge unterbreitet, den manuellen Projektierungsprozeß effektiver zu gestalten. Diese Vorschläge basieren auf der Methodik zur rechnergestützten Erarbeitung von Ventilverkettungsstrukturen, auf einer Analyse der beim Ventilverkettungshersteller bisher gebauten Ventilverkettungen und einer im VEB Industriewerke Karl-Marx-Stadt entwickelten, praxisbewährten Projektierungshilfe.

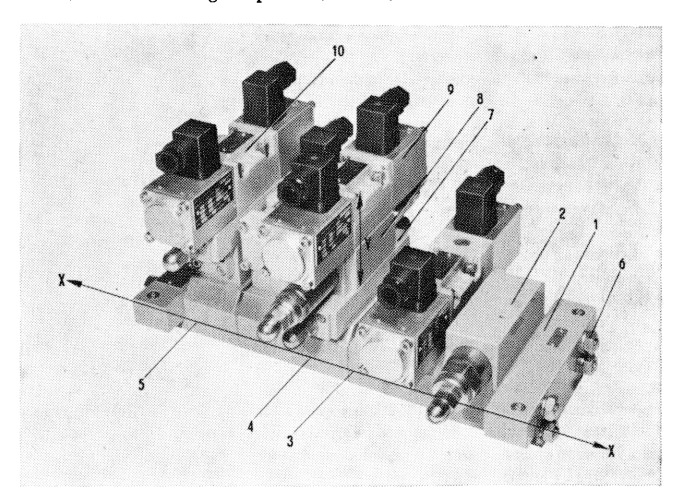
1. Aufbau des Ventilbaukastens

Vom KOH Leipzig wurde der Ventilbaukasten „p_n 32" entwickelt. Der Nenndruck des Baukastens ist 32 MPa. Er wird in [7] vorgestellt. In ihm sind alle Arten der Ventilverkettung möglich, also der Rohrleitungsbau, die Batterieverkettung und die Unterplattenverkettung. Die Unterplattenverkettung ist dabei realisierbar als Einzelunterplatte (Ventilverkettungseinheit einfach), die vorzugsweise zum Rohrleitungseinbau genutzt wird, als Mehrfachunterplatte, Verkettungsunterplatte oder als kreislaufgebundene Platte oder Block.
Als Ventilbefestigungsart unterscheidet der Ventilbaukasten den Unterplattenanbau oder den Bohrungseinbau der Ventile. Die größte Projektierungskapazität wird dabei zur Zeit für Ventilverkettungsstrukturen mit Verkettungsunterplatten benötigt, da für Sondermaschinen, Rationalisierungsmittel und auch für Maschinen, die in geringer Stückzahl produziert werden, diese Art der Ventilverkettung die verbreitetste ist. Gegenüber dem Baukasten „p_n 16" weisen die Ventilverkettungen des neuen Baukastens u. a. folgende Unterschiede auf:

- 4-Kanal-System bei den Wegeventilen
- Sperrplatten statt Stopfen zur Abdichtung der Längsverkettungseinheiten
- Möglichkeit des Einsatzes von Höhenverkettungseinheiten
- Aufnahmeplatten zur Aufnahme von Bohrungseinbauventilen.

Insbesondere die Verwendungsmöglichkeit von Höhenverkettungseinheiten erhöht die Kombinationsmöglichkeit des Bau-

Bild 1. Ventilverkettung entsprechend TGL 26215



[1]) Doz. Dr. sc. techn. *Gerhard Blumauer* (53) erlernte den Beruf eines Mechanikers. 1951 bis 1953 Studium der Feingerätetechnik an der Ingenieurschule für Maschinenbau Dresden. 1954 bis 1968 Industrietätigkeit im Bereich Konstruktion, vorwiegend im VEB IWK Karl-Marx-Stadt und im VEB IRZ Karl-Marx-Stadt. 1963 bis 1968 Studium des Maschinenbaus an der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt. Ab 1968 dort als Lektor bzw. Hochschuldozent im Bereich Verarbeitungsmaschinen-Konstruktion und allgemeiner Maschinenbau tätig. 1974 Dissertation A, 1980 Dissertation B.

Dr.-Ing. *Otto Diederich* (38) studierte von 1963 bis 1968 an der Fakultät für Elektrotechnik der TH Karl-Marx-Stadt Regelungstechnik. 1968 bis 1972 Gruppenleiter für Regelungstechnik in der Abteilung Sondermaschinen-Entwicklung des damaligen Kleinmetallwarenwerkes Heiligenstadt. 1972 bis 1979 Verantwortlicher für die Anleitung der F/E-Bereiche in den Betrieben des Kombinates Solidor. 1983 Dissertation A zum Thema „Rechnergestützte Projektierung hydrostatischer Ventilverkettungsstrukturen". Seit 1982 Gruppenleiter Steuerungen im VEB Kombinat Solidor Heiligenstadt.

kastens erheblich. Allerdings wird die Projektierung auch aufwendiger.
Im Bild 1, das [8] entnommen wurde, ist als Beispiel eine Ventilverkettung dargestellt. Die Längsverkettungseinheiten sind dabei in x-Richtung und die Höhenverkettungseinheiten in y-Richtung angeordnet. Folgende Elemente der Verkettung sind als Beispiel gekennzeichnet:

1 Abschlußplatte-Längsverkettung
2 Aufnahmeplatte-Längsverkettung, zur Aufnahme von Bohrungseinbauventilen (z. B. VDB)
3 Umlenkplatte zum Potentialwechsel innerhalb der Verkettung oder auch nur zur Schaffung von Rohrleitungsabgängen in den Kanälen 1 oder 5
4 Verkettungsunterplatte 201 zur Aufnahme von Wegeventilen oder von Höhenverkettungseinheiten
5 Sperrplatte: Sie leitet den Volumenstrom in einem Kanal je nach Bedarf weiter oder sperrt ihn ab, außerdem dichtet sie mit Hilfe von Rundringen die montierten Längsverkettungseinheiten nach außen ab
6 Zuganker zum Zusammenbau der Ventilverkettung in x-Richtung (Längsverkettung)
7 Zwischenplatte: Sie hat in den Verbraucherleitungen des zugehörigen Wegeventils Drosselrückschlagventile oder Rückschlagventile (auch entsperrbare)
8 Aufnahmeplatte-Höhenverkettung: Sie hat wie die Zwischenplatte das Bohrbild der Höhenverkettung (4-Kanal) und Aufnahmebohrung(en) zum Bohrungseinbau von Druckventilen oder Druckschaltern
9 Wegeventil
10 Zuganker mit Innensechskantmutter zur Befestigung von Höhenverkettungseinheiten und Wegeventilen auf der Verkettungsunterplatte 201.

Schon diesem Beispiel ist zu entnehmen, daß der umfangreiche Baukasten große Variabilität der aufzubauenden Ventilverkettungen ermöglicht.

2. Allgemeine Projektierungsregeln

Die in [2] dargestellte Analyse des Projektierungsprozesses ergab, daß einheitliche Projektierungsregeln nicht starr anwendbar sind. Auf der Basis der vorliegenden Funktionsstruktur erfolgt die zeichnerische Darstellung der Ventilverkettungsstruktur durch Aneinanderreihung der Symbole von Ventilen und Verkettungseinheiten, nachdem der Projektant über die Verkettungsart, zu verkettende Steuergeräte und ihre funktionelle Verknüpfung entschieden hat. Er ist dabei grundsätzlich bestrebt, auf bereits vorhandene komplett oder teilweise wiederholbare Lösungen zurückzugreifen. Eine Optimierung des Verkettungsplanes erfolgt durch gezieltes Probieren, wobei

- Einsparung von Rohrleitungen und Rohrnetzelementen
- kleine Abmessungen und Massen der kompletten Ventilverkettungsstruktur
- geringe Anzahl von Umlenkplatten
- Lieferfähigkeit und vorhandener Lagerbestand
- niedriger Druckverlust
- Kostenaufwand
- minimale Montagearbeiten

beim Einbau der Ventilverkettungsstruktur in das Aggregat oder in die Maschine die markantesten Forderungen sind [10]. Der Projektant hat zwingend die vom Hersteller vorgeschriebene maximale Baulänge einzuhalten. Außerdem sind die jeweils für den gewünschten Ventiltyp vorgesehenen Verkettungseinheiten einzusetzen. Der Projektant muß, ausgehend von der vorhandenen dimensionierten Funktionsstruktur, ständig mit den für die entsprechende Verkettungsart zutreffenden Standards arbeiten. Hierdurch entstehen zeitaufwendige Routinetägigkeiten.
Für die Projektierung einer Ventilverkettungsstruktur für Unterplattenverkettung des Ventilbaukastens „p_n 32" des KOH wurden in [2] in Anlehnung an [10] folgende Arbeitsschritte und Regeln vorgegeben:

- Vom dimensionierten Funktionsschaltplan ausgehend sind die Ventile nach Nennweiten zu sortieren
- Die Ventile der Nennweite 6 und 10 sind nach Druckpotentialen zu ordnen. Hierbei ist zu beachten, daß die Reihenfolge innerhalb eines Druckpotentials und die Aneinanderreihung der Druckpotentiale so erfolgt, daß die Montagearbeiten beim Einbau in das Aggregat oder in die Maschine gering sind. Falls beide Nennweiten auftreten, ist die Verwendung nur einer Reduzierplatte anzustreben
- Die Ventile der Nennweite 20 sind auf Mehrfachunterplatten oder Einzelunterplatten zu plazieren. Falls Mehrfachunterplatten oder Höhenverkettungseinheiten auf Einzelunterplatten eingesetzt werden, ist ein Verkettungsplan anzufertigen
- Bei Verwendung nur einer Nennweite (6 oder 10) und beim Vorhandensein nur eines Druckpotentials (keine Umlenkplatte) ist die Einsatzmöglichkeit der Mehrfachunterplatte auch für die Nennweiten 6 und 10 zu nutzen
- Bei Verwendung von Verkettungsunterplatten ist die zu erwartende größte Baulänge vorauszubestimmen, um eventuell mehrere Ventilverkettungen (Steuersäulen) einzusetzen
- Beim Einsatz von Druckschaltern, Strom- oder Druckventilen, ist die Zuordnung zu den jeweiligen Druckpotentialen und die Möglichkeit des Einsatzes von Höhenverkettungen zu untersuchen
- Auswahl und Plazierung der Verkettungsunter- oder der Aufnahmeplatte in der Reihenfolge der festgelegten Geräteordnung unter Berücksichtigung ihrer Eignung für den gewünschten Ventiltyp
- Auswahl und Plazierung des gewünschten Ventils; eventuell vorher Auswahl und Plazierung der vorgesehenen Höhenverkettungseinheit mit dem zugehörigen Ventil
- Auswahl und Plazierung der benötigten Sperrplatte; hierbei sollten nur die unbedingt notwendigen Kanäle freigelassen werden
- Die drei letztgenannten Schritte wiederholen sich, bis der Einsatz einer Umlenkplatte (Potentialwechsel) oder einer Reduzierplatte (Nennweitenwechsel) notwendig oder bis die gewünschte Funktion der Struktur realisiert ist
- Untersuchung, ob durch einen Wechsel der Reihenfolge in der Ventilverkettungsstruktur oder durch weiteren Einsatz von Höhenverkettungseinheiten eine Verbesserung im Sinne der oben aufgezeigten Forderungen möglich ist. Ein derartiges gezieltes Probieren ist mit großem Zeit- und Zeichnungsaufwand verbunden
- Auswahl und Plazierung der gewünschten Abschlußplatten
- Nachrechnung der tatsächlich benötigten Länge der Ventilverkettung; falls notwendig, Ermittlung der Kosten und der Masse der gesamten Ventilverkettungsstruktur; bei Rahmenbefestigung kann jetzt auch die Einbaulänge (Abstand der Befestigungsschrauben der beiden Abschlußplatten zueinander) und somit das Bohrbild für den Rahmen festgelegt werden
- Kennzeichnung der Ventile und Magnete mit ihren Kurzzeichen aus dem Funktionsschaltplan
- Erstellung der Geräteliste für alle Ventile und eventuell Druckschalter, die in der Ventilverkettungsstruktur vorgesehen sind
- Beschriftung des so entworfenen Verkettungsplanes unter Verwendung einer vom Hersteller festgelegten Kennzeichnung (Numerierung) und Anfertigung der vervielfältigungsfähigen Zeichnung.

Diese Schritte können nur ein mögliches Schema sein. Spezielle Anwendungsfälle und Restriktionen werden immer Abweichungen davon verlangen.

3. Vorzugsvariante als praktikable Projektierungshilfe

Zur rationellen Lichttastenanordnung am interaktiven grafischen Bildschirm bei der rechnerunterstützten Projektierung von Ventilverkettungsstrukturen wurde an der Sektion Verarbeitungstechnik der THK 1980 eine Analyse bereits gefertigter Ventilverkettungen beim Hersteller, dem VEB Hydraulik Dippoldiswalde im KOH, vorgenommen [2]. Diese Analyse ergab u. a., daß von den meisten Anwendern die Vielfalt des Baukastens selten genutzt wird. Außerdem zeigte die Fehlerhäufigkeit der beim Hersteller als Bestellunterlage eingehenden Verkettungspläne (Bauschaltpläne), daß die Variationsmöglichkeiten für viele Anwender verwirrend sind. Deshalb wurden in [2] Vorschläge erarbeitet, mit Hilfe eines auf Vorzugsvarianten aufbauenden Projektierungskataloges die manuelle Projektierung zu erleichtern und zu rationalisieren. Dadurch werden gleichzeitig Vorzugsvarianten als Auswahlreihen des umfangreichen Gerätesortiments beim Hersteller erzielt, ohne für spezielle Anwender die Vielfalt des Baukastens einzuschränken.
Zur Erhärtung und Aktualisierung der 1980 durchgeführten Analyse wurde diese 1982 nochmals durchgeführt [9]. In beiden Fällen wurden jeweils 200 verschiedene Ventilverkettungen analysiert. Bei der letzten Analyse wurden nur solche Verkettungen herangezogen, die nach 1980 gebaut worden waren. Die Ergebnisse der ersten Analyse wurden grundsätzlich bestätigt. Die in Anlehnung an das Kriterienmengenermittlungs-

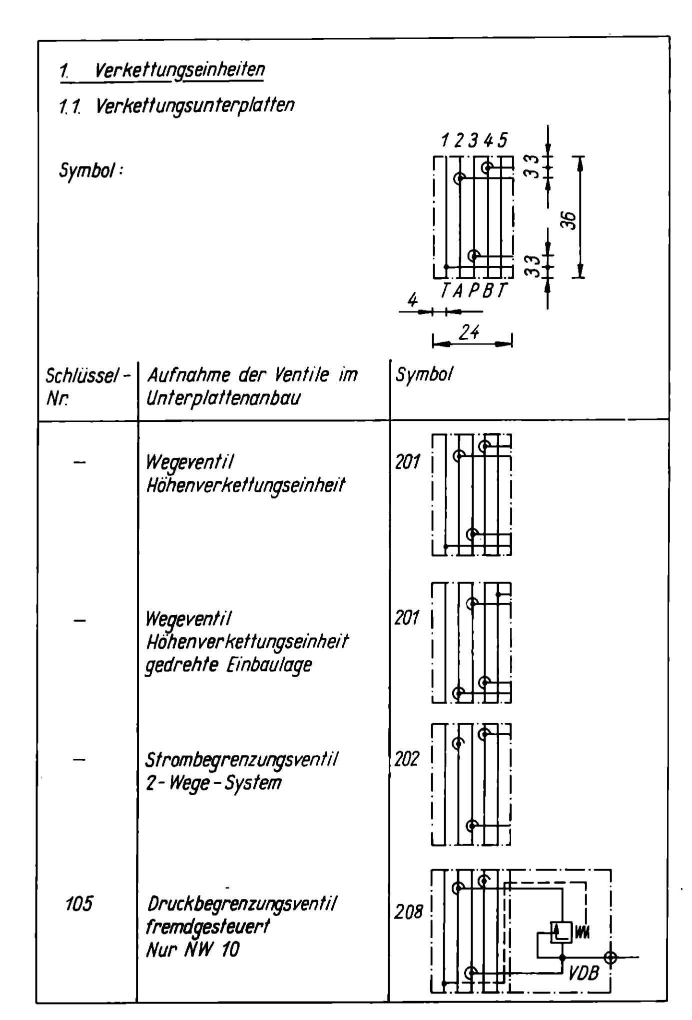


Bild 2. Katalogteil Verkettungseinheiten — Verkettungsunterplatten

1.3. Umlenkplatten

Symbol: 1 2 3 4 5 / T A P B T (4; 12)

Verbindung der Kanäle	Symbol
3 - 5	232
2 - 3	234
3 - 4	234
1 - 2	231
1 - 3	232
1 - 3	232
ohne	230
2 - 3 und 4 - 5	236
4 - 5	231
1 - 2 und 3 - 5	235
1 - 5 und 3 - 4	237
1 - 2 und 3 - 4	236

Bild 3. Katalogteil Verkettungseinheiten — Umlenkplatten

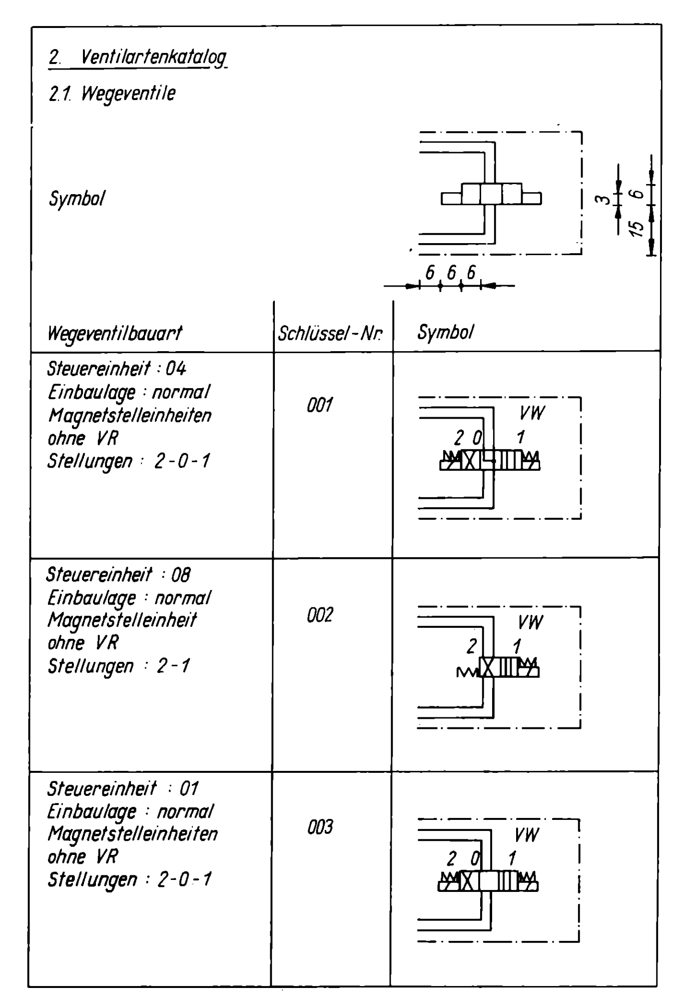
verfahren vorgenommenen Auswertungen zeigen hohe Übereinstimmung.
Aufbauend auf diesen Auswertungen entstand der Projektierungskatalog. Er besteht aus drei Teilen:

1. Der *Symbolkatalog für Verkettungseinheiten* enthält die am häufigsten eingesetzten Verkettungseinheiten. Dabei sind jeweils das Symbol der Verkettungseinheit, ihre Baugruppennummer und die Verwendung angegeben. Bild 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem Katalogteil für Verkettungsunterplatten. Als Anwendung ist in diesen Fällen die Aufnahmemöglichkeit für ein bestimmtes Ventil zu verstehen. Bild 3 ist dem Katalogteil für Umlenkplatten entnommen. Als Anwendung ist hierbei die Funktion der Umlenkplatte in der Verkettung zu verstehen. Verkettungseinheiten, die nur ein bestimmtes Ventil aufneh-

Tafel. Katalogteil Geräteliste — Wegeventile

3. Geräteliste
3.1. Wegeventile
Alle hier aufgeführten Wegeventile beziehen sich auf die TGL 26223/40. Die Bestellbezeichnung ist jeweils um diese Standardangabe zu ergänzen.
Es sind nur Normalausführungen, keine Sonderausführungen angegeben.

Schlüssel-Nr.	Ventilausführung	Bestellbezeichnung NW 6	Bestellbezeichnung NW 10
1	2	3	4
001	24 V GS	06-306.21/042.12/306.21-0	10-306.21/042.22/306.21-0
	220 V WS	06-306.32/042.12/306.32-0	10-306.32/042.22/306.32-0
002	24 V GS	06-072.00/082.12/306.21-0	10-072.00/082.22/306.21-0
	220 V WS	06-072.00/082.12/306.32-0	10-072.00/082.22/306.32-0
003	24 V GS	06-306.21/012.12/306.21-0	10-306.21/012.22/306.21-0
	220 V WS	06-306.32/012.12/306.32-0	10-306.32/012.22/306.32-0
004	24 V GS	06-306.21/012.11/306.21-0	10-306.21/012.21/306.21-0
	220 V WS	06-306.32/012.11/306.32-0	10-306.32/012.21/306.32-0
005	24 V GS	06-306.21/082.12/072.00-0	10-306.21/082.22/072.00-0
	220 V WS	06-306.32/082.12/072.00-0	10-306.32/082.22/072.00-0
006	24 V GS	06-306.21/082.11/072.00-0	10-306.21/082.21/072.00-0
	220 V WS	06-306.32/082.11/072.00-0	10-306.32/082.21/082.00-0
007	24 V GS	06-306.21/042.11/306.21-0	10-306.21/042.21/306.21-0
	220 V WS	06-306.32/042.11/306.32-0	10-306.32/042.21/306.32-0
008	24 V GS	06-306.21/Y052.12/071.00-0	10-306.21/Y052.22/071.00-0
	220 V WS	06-306.32/Y052.12/071.00-0	10-306.32/Y052.22/071.00-0
009	24 V GS	06-301.21/082.12/303.21-0	10-301.21/082.22/303.21-0
	220 V WS	06-301.32/082.12/303.32-0	10-301.32/082.22/303.32-0


2. Ventilartenkatalog

2.1. Wegeventile

Symbol

Wegeventilbauart	Schlüssel-Nr.	Symbol
Steuereinheit : 04 Einbaulage : normal Magnetstelleinheiten ohne VR Stellungen : 2-0-1	001	VW 2 0 1
Steuereinheit : 08 Einbaulage : normal Magnetstelleinheit ohne VR Stellungen : 2-1	002	VW 2 1
Steuereinheit : 01 Einbaulage : normal Magnetstelleinheiten ohne VR Stellungen : 2-0-1	003	VW 2 0 1

Bild 4. Katalogteil Ventile — Wegeventile

men können, enthalten gleichzeitig das Symbol dieses zugehörigen Ventils und eine als Projektierungshilfe vorgesehene Schlüssel-Nr.

2. Der *Ventilartenkatalog* enthält die Symbole der am häufigsten eingesetzten Ventile. Neben der Funktion des Ventils sind diesem Katalogteil jeweils eine zugehörige Schlüssel-Nr. und die notwendige Verkettungseinheit zu entnehmen (Bild 4). Auch bei den Wegeventilen wurden nur die Varianten aufgenommen, die entsprechend der Analysen am häufigsten eingesetzt wurden. Der entsprechende Katalogteil enthält 25 Wegeventiltypen. Unter Wegeventiltyp wird dabei eine Gruppe von Wegeventilen verstanden, die durch das gleiche Symbol dargestellt werden und sich nur durch ihre Bezeichnung in der Geräteliste unterscheiden. In den insgesamt analysierten 400 Ventilverkettungen (Steuersäulen) waren 1396 Wegeventile eingesetzt. Mit den ausgewählten 25 Wegeventiltypen des Katalogs sind davon 1301 darstellbar. Speziell an diesem Beispiel ist zu sehen, daß in den meisten praktischen Einsatzfällen die Typenvielfalt des Baukastens selten genutzt wird. Die 25 Wegeventiltypen des Kataloges sind den Schlüssel-Nr. 1 bis 25 zugeordnet.

3. Der letzte Teil des Kataloges dient der Erstellung der *Geräteliste*. Er enthält die Spalten: Schlüssel-Nr.; Ventilausführung; Nennweite und Bestellbezeichnung. Die Schlüssel-Nr. ist dem jeweiligen Ventilsymbol in den ersten beiden Katalogteilen zugeordnet. Die zugehörige Bestellbezeichnung enthält also zwangsläufig die Daten, die sich aus dem gewählten Ventilsymbol ergeben. In der Spalte „Ventilausführung" kann der Projektant z. B. den gewünschten Druckeinstellbereich, die Art der Stelleinrichtung oder die Nennspannung des Erregermagneten auswählen. Die Spalte „Nennweite" ermöglicht die Wahl zwischen Nennweiten 6 und 10, worunter immer die Nennweite der Verkettung verstanden wird. Die Spalte „Bestellbezeichnung" enthält dann die zugehörige komplette Bestellbezeichnung einschließlich der TGL-Nr. Bei den Wegeventilen werden nur 24 V GS oder 220 V WS als Ventilausführungen unterschieden. Somit ergeben sich für jeden Wegeventiltyp vier verschiedene Bestellbezeichnungen (Tafel).

Die *Anwendung* des Katalogs ist einfach:

1. Auswahl der Verkettungseinheit im Teil 1
2. Auswahl des Ventils in Teil 2 und Kontrolle der gewählten Verkettungseinheit anhand der entsprechenden Spalte im Teil 2
3. Auswahl der Bestellbezeichnung durch Nutzung der Schlüssel-Nr. und Festlegung der gewünschten Ventilausführung und der Nennweite.

Verkettungseinheiten, die nicht zur Aufnahme von Ventilen dienen, sondern zur Realisierung der gewünschten Funktion der Verkettung notwendig sind (Umlenkplatten, Sperrplatten, Abschlußplatten), und solche Verkettungseinheiten, die eingebaute Ventile enthalten (Zwischenplatte), können direkt dem Teil 1 des Katalogs entnommen werden. Für diese Einheiten ist nur die Angabe der Baugruppennummer notwendig.
Enthalten Symbole von Verkettungseinheiten im Teil 1 des Katalogs das zugehörige Ventilsymbol und ist eine Schlüssel-Nr. angegeben, kann mit deren Hilfe die Bestellbezeichnung, wie oben aufgeführt, im Teil 3 ausgewählt werden, ohne den Teil 2 des Katalogs zu nutzen. Bei Nutzung des Katalogs kann auch mit Teil 2 (Ventile) begonnen werden, um von dort auf Teil 1 und Teil 3 zu schließen.

Zusammenfassung

Aus den Ergebnissen der Analyse praktisch angewendeter Ventilverkettungsstrukturen, die zur rationellen Realisierung rechnerunterstützter Projektierung erarbeitet wurde, konnten Vorzugsvarianten des Baukastens „p_n 32" hergeleitet werden. Diese Vorzugsvarianten sind die Grundlage für den vorgestellten Projektierungskatalog. Dieser Katalog dient vor allem dem Rationalisierungsmittelentwickler, der nicht ständig mit hydrostatischen Projektierungsaufgaben beschäftigt ist, als Hilfe.
Er macht die Arbeit mit den Standards überflüssig, da er bis zur TGL-gerechten Bestellbezeichnung der Ventile alle für die Erstellung eines Verkettungsplanes notwendigen Angaben enthält.
Die Typenvielfalt wird stark eingeschränkt und somit übersichtlich. Zum Beispiel enthält der Katalog 33% der Verkettungsunterplatten, 29% der Aufnahmeplatten in der Längsverkettung und 77% der Aufnahmeplatten in der Höhenverkettung, die im Baukasten möglich sind. Er enthält nur 25 verschiedene Wegeventile, 5 Druckventile und 2 Stromventile. Im Bedarfsfall ist die Symbolik auch in der gedrehten Einbaulage innerhalb der Verkettung dargestellt, so daß vom Projektanten kein Umdenken verlangt wird.
Gleichzeitig ist der Katalog auch ein Speicher von Vorzugsvarianten praktisch realisierter Lösungen. Der Katalog ist also auch vom erfahrenen Projektanten zu nutzen. Für Lösungen, die den Speicherinhalt des Katalogs sprengen, müssen nach wie vor die Standards herangezogen werden.
Der hier vorgestellte Katalog ist an der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt, Sektion Verarbeitungstechnik, nachnutzbar.

Literatur

[1] *Blumauer, G.:* Die rechnerunterstützte Projektierung hydrostatischer Antriebe und Steuerungen. Dissertation B, Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt 1980.
[2] *Diederich, O.:* Rechnerunterstützte Projektierung hydrostatischer Ventilverkettungsstrukturen. Entwurf Dissertation A, Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt 1982.
[3] *Lindemuth, A.; Lehmann, W.:* Funktionsschaltplan-Bauschaltplan-Rohrleitungsplan, Grundlagen für die Projektierung hydrostatischer Anlagen. Technischer Informationsdienst ORSTA-hydraulik 5 (1966) 3, S. 77—84.
[4] *Diederich, O.; Blumauer, G.:* Rechnerunterstützte Projektierung der Fertigungsdokumentation hydrostatischer Anlagen mit aktivem Bildschirm. msr, Berlin 24 (1981) 10, S. 564—568.
[5] *Blumauer, G.; Diederich, O.; Haderthauer, U.:* Rechnerunterstützte Projektierung von Strukturen mit der grafischen Datenverarbeitung im Maschinenbau. msr, Berlin 25 (1982) 12, S. 678—683.
[6] *Blumauer, G.:* Rechnerunterstützte Projektierung hydrostatischer Anlagen. Maschinenbautechnik, Berlin 31 (1982) 6, S. 252—255.
[7] *Will, D.; Ströhl, H.:* Einführung in die Hydraulik und Pneumatik. Berlin: VEB Verlag Technik 1981.
[8] Firmenprospekt: Ventilverkettungssysteme Unterplattenanbau (Prospekt-Nr. 2—280—80, d). Leipzig: Kombinat ORSTA-Hydraulik 1980.
[9] *Dölling, W.:* Rechnergestützte Projektierung von Verkettungsstrukturen. Großer Beleg, Technische Hochschule Karl-Marx-Stadt, Sektion VT, 1983.
[10] *Blumauer, G.:* Grundlagen der Projektierung und Berechnung von Hydraulikanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik, Entwurf zur 2. Auflage 1982.
msr 7911

A. Friedrich[1])

Systematische Verfahren zur Projektierung von Steuerungen für Sondermaschinen und Handhabegeräte

0. Einleitung

Wenn es darum geht, die Arbeitsproduktivität bedeutend zu steigern sowie die Effektivität der Arbeit entscheidend zu erhöhen, ist das in vielen Fällen mit der Entwicklung prozeßspezifischer Handhabegeräte verbunden, die in den Fertigungsprozeß integriert werden und so zur bedienerarmen Fertigung führen. Ein sehr großer Teil dieser Automaten kann aufgrund der einfachen technologischen Anforderungen nichtnumerisch gesteuert werden. Dafür kommen fest verdrahtete oder verschlauchte oder speicherprogrammierbare elektromechanische [13], pneumatische (SAG-2, DRELOBA, ORSTA usw.) und elektronische Systeme (PS 2000, ursalog 5010, ursalog 4000 usw.) zum Einsatz.

In jedem konkreten Fall ist es erforderlich, für solche Steuerungen, ausgehend von den Forderungen des technologischen Prozesses und der geplanten konstruktiven Lösung des Automaten, Steuerstromlaufpläne, Signalflußpläne oder Steuerungsprogramme zu entwickeln. Obwohl es einige durchgängig gut systematisierte Entwicklungsverfahren für solche Steuerungen gibt, ist es noch sehr verbreitet, die systematische Arbeit lediglich auf die Analyse des Problems zu beschränken. Das Ergebnis dieser ersten Arbeitsphase sind Steuerungs- und Schaltfolgediagramme unterschiedlicher Art [1] bis [3]. Davon ausgehend wird die Steuerung mehr oder weniger intuitiv entworfen. Das hat einige entscheidende Nachteile:

- Die Funktionssicherheit und auch die Kosten hängen sehr stark von der Erfahrung des Projektanten ab
- Intuitive Vorgehensweisen sind schwer erlernbar
- Der Materialaufwand für die Steuerung hängt ebenfalls von der Erfahrung des Projektanten ab.

Im Beitrag werden vier einfache Entwurfsverfahren vorgestellt, die, ausgehend von der Problemanalyse, auf systematischem Wege zu Steuerschaltungen und Programmen führen.

Vom Verfasser wurden viele Steuerungen für Handhabungsmechanismen und Fertigungsautomaten nach diesen Verfahren entwickelt und im Laborversuch sowie im praktischen Betriebseinsatz mit unterschiedlicher Gerätetechnik getestet [6] bis [10]. Dabei wurden die Vor- und Nachteile dieser Verfahren hinsichtlich

- Projektierungsaufwand
- Eignung für eine bestimmte Gerätetechnik aus ökonomischer Sicht
- Vermeidung von Signalwettläufen

besonders deutlich.

Hier sollen die Stärken und Schwächen dieser Verfahren auf der Grundlage eines Beispiels aus der Fertigungstechnik herausgearbeitet werden. Dabei wird großer Wert darauf gelegt, die Verfahren einfach und verständlich vorzustellen.

1. Analyse des Steuerungsproblems, auf dessen Grundlage die mit den Projektierungsverfahren gesammelten Erfahrungen dargelegt werden

1.1. Verbale Beschreibung des Ablaufs

Der in der Geräteskizze (Bild 2) dargestellte Automat dient dazu, die beiden radialen Bohrungen des Werkstücks (Bild 1) zu fertigen. Die auf einer Drehmaschine vorbearbeiteten Teile befinden sich in einem Magazin, das sie auf einer schiefen Ebene verlassen. Sie rollen auf diese Weise in ein Spannprisma, das zu diesem Zweck in seiner unteren Stellung eine einstellbare Zeit verharren muß. Das wird durch eine Verzögerung des Schaltersignals x_0 erreicht. Das Ausgangssignal dieser Zeitstufe wird mit x_{0V} bezeichnet. Wenn eingeschaltet ist, wird nach Ablauf dieser Verharrzeit das Werkstück gespannt und danach die Ausführung der ersten Bohrung ausgelöst. Nach Ausführung dieser Bohrung wird die Bohrmaschine aus der rechten in die linke Bearbeitungsstellung transportiert. Nach erfolgtem Transport wird die Ausführung der zweiten Bohrung ausgelöst. Wenn diese Bohrung ausgeführt ist, fährt der Zuführ- und Spannkolben zurück, wodurch das Werkstück mit Hilfe einer Federklinke aus dem Prisma gehoben und auf eine schiefe Ebene befördert wird, auf der es in die Fertigteilekiste rollt. Nun erfolgt in beschriebener Weise das Zuführen und Spannen des nächsten Werkstücks, das zuerst links und dann rechts gebohrt wird. Wenn das bearbeitete 2. Werkstück ausgeworfen worden ist, hat der Automat seine Ausgangsposition wieder erreicht. Die Bohrmaschine steht dann rechts oben, und der Zuführkolben befindet sich unten. Als Sensoren werden die Schalter x_0 bis x_5 eingesetzt. Eingeschaltet ist der Automat, wenn der Ein/Aus-Speicher Z_E gesetzt ist.

1.2. Grafische Beschreibung des Ablaufs — 1. Stufe

In der 1. Stufe der grafischen Ablaufbeschreibung können Steuerungs- und Schaltfolgediagramme der bekannten Art eingesetzt werden [1] bis [4] und [11]. Besonders bewährt hat sich ein spezielles kombiniertes Steuerungsschaltfolgediagramm, in dem der gesamte Bewegungsablauf mit sämtlichen Sensorwir-

Bild 1. Vom Automaten zu fertigende Querbohrungen

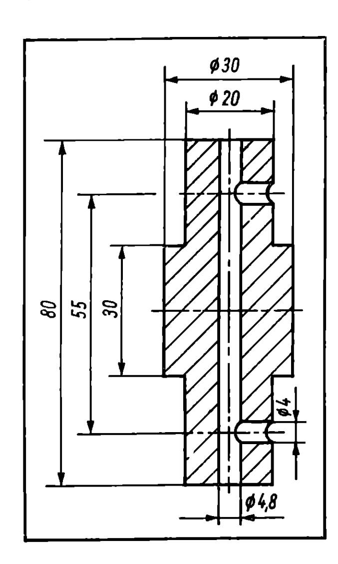
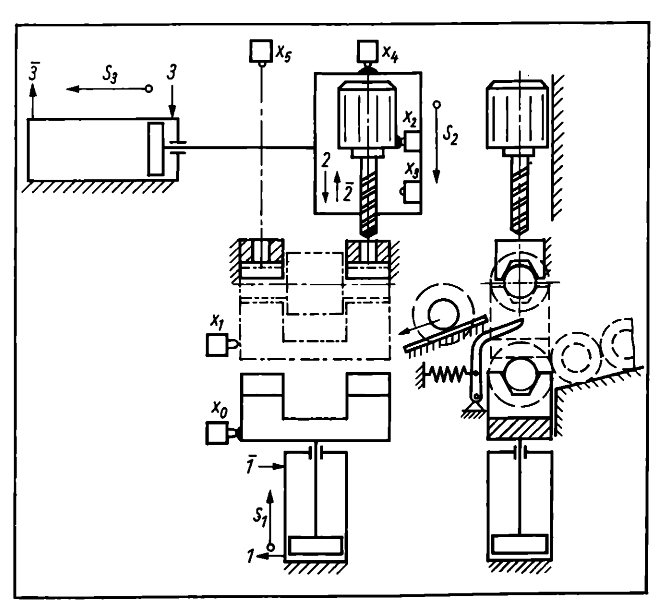


Bild 2. Geräteskizze des Automaten als Grundlage zur Erläuterung der Projektierungsverfahren



[1]) Fachschuldozent Dipl.-Ing. *Alfred Friedrich* (44) studierte nach einem Jahr praktischer Tätigkeit im VEB Armaturenwerke „Karl Marx" Magdeburg von 1958 bis 1964 an der TH „Otto von Guericke" Magdeburg (THM) „Angewandte Mechanik". 1964 bis 1966 wissenschaftlicher Assistent am Institut für Angewandte Mechanik der THM. 1966 bis 1977 Abteilungsleiter im VEB ZRAW Gommern. Seit 1967 Fachschullehrer an der Ingenieurschule für Maschinenbau „Fritz Heckert" in Schmalkalden. Lehrgebiete: Automatisierungstechnik, Technische Mechanik, Mathematik. Fachgruppenleiter der Fachgruppe „Automatisierungstechnik und EDV". Leiter des Labors für Automatisierungstechnik. 1976 postgraduales Zusatzstudium „Fachschulpädagogik" an der TH Karl-Marx-Stadt.

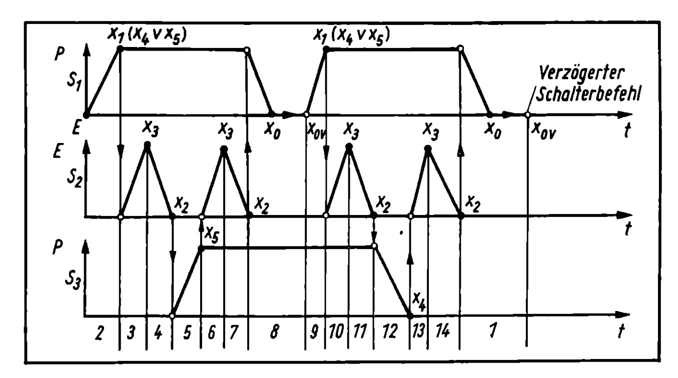


Bild 3. Kombiniertes Steuerungsschaltfolgediagramm

E Ausführung elektrisch; *P* Ausführung pneumatisch; X_E Eintaster

kungen dargestellt wird. In dieses Diagramm werden die Sensoren als Punkte eingetragen (Bild 3). Von diesen Punkten gehen senkrecht nach oben und/oder nach unten Wirkungen aus, die als Pfeile dargestellt werden. In dem Diagramm, in dem der Sensor als Ursache (Punkt) eine Wirkung auslöst, wird das als Kreis markiert. Erfolgt die Wirkung nur in dem Diagramm, in dem sich der Sensor befindet, genügt die Markierung als Punkt. Die Wegkoordinaten s_i und sämtliche Sensoren x_i sind auch in der Geräteskizze zu erkennen.

Um eine Eindeutigkeit der Befehlsbezeichnungen zu erreichen und eine Überladung der Diagramme zu vermeiden, wird folgende Befehlsbezeichnung vereinbart und generell beibehalten:

y_n bewirkt eine Bewegung in Richtung der positiven Wegkoordinate s_n

$y_{\bar{n}}$ bewirkt eine Bewegung in Richtung der negativen Wegkoordinate $-s_n$.

Wenn Bewegungen von einer Endlage in die andere erfolgen, werden die sogenannten Rücklaufbefehle $y_{\bar{n}}$ nicht in die Projektierung einbezogen, weil sie sich stets durch folgende einfache Rechnung aus den Vorlaufbefehlen ergeben:

Bei pneumatischen und hydraulischen Antrieben gilt:

$$y_{\bar{n}} = \bar{y}_n \, .$$

Beim Einsatz elektrischer Antriebe ist die Unterdrückung der Vorlauf- und Rücklaufbefehle bei Halt in den Endlagen im Anschluß an die systematische Projektierung der Steuerung gesondert einzuarbeiten. Das erfolgt durch folgende einfache logische Verknüpfung der Stellbefehle mit dem Vorlaufbegrenzungsschalter x_V und dem Rücklaufbegrenzungsschalter x_R:

$$y_{nE} = y_n \bar{x}_V \, ,$$

$$y_{\bar{n}E} = \bar{y}_n \bar{x}_R \, .$$

Wenn der Antrieb unterwegs aus- und eingeschaltet werden muß, ist es zweckmäßig, die Rücklaufbefehle von vornherein in die Projektierung einzubeziehen. Sie werden dann genauso behandelt wie im Beispiel die Vorlaufbefehle.

Tafel 1. Wettlaufsicherer Kode für den speicherminimierten Schaltungsentwurf

		8 Zustände			
			4 Zustände		
Nr.	C_1	C_2	C_3	C_4	
1	0	0	0	0	
2	0	0	0	L	14 } 6
3	0	0	L	L	
4	0	0	L	0	12
5	0	L	L	0	
6	0	L	L	L	
7	0	L	0	L	
8	0	L	0	0	10
9	L	L	0	0	
10	L	L	0	L	
11	L	L	L	L	
12	L	L	L	0	
13	L	0	L	0	
14	L	0	L	L	
15	L	0	0	L	
16	L	0	0	0	

Die Geräteskizze (Bild 2) und das kombinierte Steuerungsschlatfolgediagramm (Bild 3) bestimmen eindeutig den Bewegungsablauf des Automaten. Diese beiden Unterlagen sind hervorragend als Verständigungsmittel zwischen Konstrukteur und Steuerungstechniker geeignet. Der Buchstabe vor der Wegkoordinate gibt an, ob diese Bewegung pneumatisch oder elektrisch angetrieben wird. Zur ersten Stufe der grafischen Darstellung gehört abschließend die Unterteilung des Steuerzyklus in Zustände.

Der Nachfolgezustand unterscheidet sich vom Vorgängerzustand äußerlich nur dadurch, daß beim Zustandswechsel ein Sensor oder eine logische Kombination von Sensoren wirksam geworden ist. Wenn beim Nachfolgezustand die gleichen Ausgangsbefehle anliegen wie beim Vorgänger, soll dieser Zustand als Pseudozustand bezeichnet werden. Pseudozustände werden nur beim speicherminimierten Entwurf zur Erzielung einer geraden Zustandszahl bewußt eingeplant. Dadurch können Wettlauferscheinungen vermieden werden. Sensoren können hier auch verzögerte Schalter- oder Ausgangsbefehle sein.

Das Eintragen der Zustände in das kombinierte Steuerungsschaltfolgediagramm erfolgt also zunächst nach der Folge der sich ändernden Ausgangssignale. Kommt man auf eine ungerade Zustandszahl und will speicherminimiert gestalten, wird ein Pseudozustand eingeplant, der durch eine vorhandene oder zusätzlich eingebaute Schaltverzögerung eingeleitet wird. Im Beispiel kommt man auf 14 Zustände, so daß ein Pseudozustand nicht notwendig ist.

2. Speicherminimierter Schaltungsentwurf

2.1. *Zielstellung und Wesen dieses Entwurfsverfahrens*

Das Anliegen dieses Entwurfsverfahrens besteht in einer Minimierung der Signalspeicher. Da in der Elektromechanik für jeden Signalspeicher ein Relais benötigt wird, führt die Anwendung des Verfahrens in dieser Gerätetechnik von vornherein zu niedrigem Relaisaufwand. Durch die Anwendung dieses Verfahrens in der Relaistechnik kann also Kupfer eingespart werden.

Bei der Festlegung der Ausgangsbefehle aus den Speichersignalen kann durch Anwendung der Schaltalgebra, z. B. mit Hilfe des Karnaugh-Verfahrens, auf sehr einfache Weise eine Reduzierung der Kontaktanzahl oder der Anzahl kontaktloser elektronischer oder pneumatischer Bauelemente auf den unbedingt erforderlichen Aufwand erreicht werden.

Das Wesen dieses Verfahrens besteht darin, daß die Zustände z_1 bis z_n in binärer Verschlüsselung mit Hilfe der Speichersignale c_1 bis c_m dargestellt werden (Tafel 1).

Mit m Signalspeichern können also 2^m Zustände verschlüsselt werden. Bei der Verschlüsselung der Zustände muß darauf geachtet werden, daß beim Übergang von einem Zustand zum nachfolgenden immer nur ein Signalspeicher gesetzt oder zurückgestellt wird, da beim gleichzeitigen Ansteuern mehrerer Speicher Signalwettläufe die Ausführung dieser Operation in Frage stellen.

In der Tafel 1 kommt man durch paarweises Weglassen von Zeilen aus dem Feld für 16 Zustände auf den Kode für 14, 12 und 10 Zustände und aus dem Feld für 8 Zustände auf den Kode für 6 Zustände. Durch Hinzunahme weiterer Signalspeicher kann man unter Beachtung des symmetrischen Aufbaus den Kode mühelos auf jede beliebige gerade Zustandszahl erweitern. Wenn sich aus dem kombinierten Steuerungsschaltfolgediagramm eine ungerade Zustandszahl ergibt, wird in beschriebener Weise ein Pseudozustand hinzugenommen.

2.2. *Grafische Darstellung des Steuerungsproblems — 2. Stufe*

Als 2. Stufe der grafischen Darstellung des Steuerungsproblems hat es sich bewährt, den Steuergraphen in Form einer speziellen Sequenzleiter darzustellen (Bild 4).

Die Ausgangsbefehle der Zustände und die Übergänge von einem Zustand zum anderen werden aus dem kombinierten Steuerungsschaltfolgediagramm abgelesen. Der Kode für die entsprechende Zustandszahl wird aus der Kodetabelle (Tafel 1) entnommen. Für das hier zugrunde gelegte Beispiel ergibt sich damit die im Bild 4 dargestellte Sequenzleiter als 2. Stufe der grafischen Problemdarstellung.

2.3. *Ableiten der Setz- und Rückstellbefehle für die Speicher*

Die Setz- und Rückstellbefehle werden nach einem sehr einfachen Algorithmus aus der Sequenzleiter abgelesen. c_1 ist beispielsweise ab dem 7. Zustand gesetzt. Für den Setzbefehl dieses Speichers S_1 ergibt sich damit als konjunktive Verknüpfung der Befehle von Zustand 6 nach Zustand 7 folgender

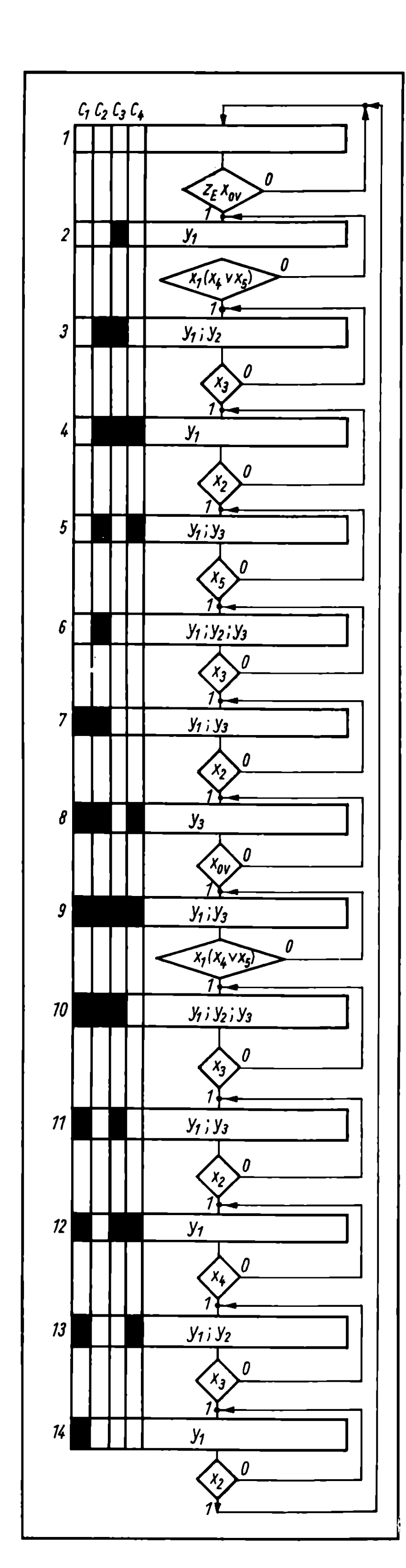


Bild 4. Sequenzleiter als spezielle Art des Steuergraphen oder Programmablaufplans (berücksichtigt die Kodierung der Zustände mit Hilfe der Setzausgänge der Signalspeicher)

Ausdruck:

$$S_1 = c_2\bar{c}_3\bar{c}_4x_3 \,.$$

Daß c_1 im 6. Zustand noch nicht gesetzt ist, braucht als Selbstverständlichkeit nicht in den Setzbefehl aufgenommen zu werden.
Da c_1 vom Zustand 14 zum Zustand 1 zurückgestellt wird, ergibt sich folgender Rückstellbefehl:

$$R_1 = \bar{c}_2\bar{c}_3\bar{c}_4x_2 \,.$$

Analog liest man für die Speicher c_2 bis c_4 folgende Setz- und Rückstellbefehle aus der Sequenzleiter ab:

$$S_2 = \bar{c}_1c_3\bar{c}_4x_1(x_4 \vee x_5)$$
$$R_2 = c_1c_3\bar{c}_4x_3$$
$$S_3 = \bar{c}_1\bar{c}_2\bar{c}_4Z_{\mathrm{E}}x_{\mathrm{OV}} \vee c_1c_2c_4x_{\mathrm{OV}}$$
$$R_3 = \bar{c}_1c_2c_4x_2 \vee c_1\bar{c}_2c_4x_4$$
$$S_4 = \bar{c}_1c_2c_3x_3 \vee c_1c_2\bar{c}_3x_2 \vee c_1\bar{c}_2c_3x_2$$
$$R_4 = \bar{c}_1c_2\bar{c}_3x_5 \vee c_1c_2c_3x_1(x_4 \vee x_5) \vee c_1\bar{c}_2\bar{c}_3x_3 \,.$$

2.4. Ableiten der Stellbefehle mit Hilfe des Karnaugh-Verfahrens

Da y_1 nur im Zustand 1 und im Zustand 8 nicht vorkommt, lohnt sich für diesen Befehl die Darstellung des Karnaugh-Planes nicht. Aus der Sequenzleiter ergibt sich für $\bar{y}_1$ folgende Funktion:

$$\bar{y}_1 = \bar{c}_1\bar{c}_2\bar{c}_3\bar{c}_4 \vee c_1c_2\bar{c}_3c_4 = \bar{c}_3(\bar{c}_1\bar{c}_2\bar{c}_4 \vee c_1c_2c_4) \,.$$

Damit stehen für den 1. Antrieb folgende Vorlauf- und Rücklaufbefehle fest:

$$y_{\bar{1}} = \bar{y}_1 \,; \qquad y_1 = \bar{y}_{\bar{1}} \,.$$

Durch die Wahl des Kodes läßt sich der Karnaugh-Plan für jede Ausgangsgröße besonders günstig aufschreiben (Bild 5).
Zunächst werden die Felder markiert, die durch die aus der Kodetabelle weggelassenen Zeilen bestimmt sind. Dann werden, von unten links beginnend, die Felder in der Folge eines mäanderförmigen Linienzuges durchnumeriert. Die so erhaltenen Feldnummern entsprechen den Zustandsnummern der Sequenzleiter. Die Signale in den doppelt eingerahmten Feldern werden so gewählt, daß eine günstige Blockbildung möglich ist. Damit ergibt sich für y_2 aus dem Karnaugh-Plan (Bild 5)

$$y_2 = c_2\bar{c}_4(c_3 \vee \bar{c}_1) \vee \bar{c}_2\bar{c}_3c_4 \,.$$

Da es sich um einen elektrischen Antrieb handelt, errechnet sich der Rücklaufbefehl zu:

$$y_{\bar{2}} = \bar{y}_2\bar{x}_2 \,.$$

Analog ergibt sich der Stellbefehl y_3 aus dem Karnaugh-Plan (Bild 6):

$$y_3 = c_2(c_1 \vee \bar{c}_3) \vee c_1c_3\bar{c}_4 \,.$$

Da es sich hier um ein pneumatisches Stellglied handelt, ist der Rücklaufbefehl gleich dem negierten Vorlaufbefehl:

$$y_{\bar{3}} = \bar{y}_3 \,.$$

Wenn bei der speicherminimierten Projektierung ein wettlaufsicherer Kode verwandt und gegebenenfalls ein Pseudozustand eingeführt wird, führt dieses Verfahren algorithmisch zu in jeder Technik funktionssicheren Programmsteuerungen (Bild 7), die aufgrund der Einsparung von Kupfer besonders für die Relaistechnik zu empfehlen sind. Für die Vereinfachung der Nachspeicherlogik kann bei diesem Verfahren der Karnaugh-Plan besonders effektiv eingesetzt werden.

3. Taktkettenverfahren

3.1. Wesen des Taktkettenverfahrens

Bei diesem Verfahren wird ebenfalls die Sequenzleiter (Bild 4) zugrunde gelegt. Es entfällt lediglich die Verschlüsselung der Zustände, d. h., die Kodierung wird nicht in die Sequenzleiter

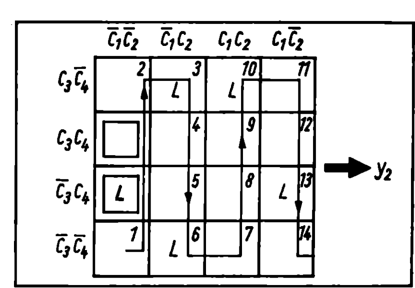


Bild 5. Karnaugh-Plan für die Ermittlung des Stellbefehls y_2

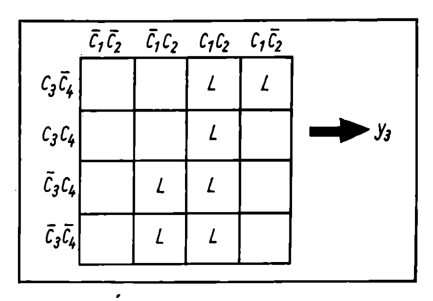


Bild 6. Karnaugh-Plan für die Ermittlung des Stellbefehls y_3

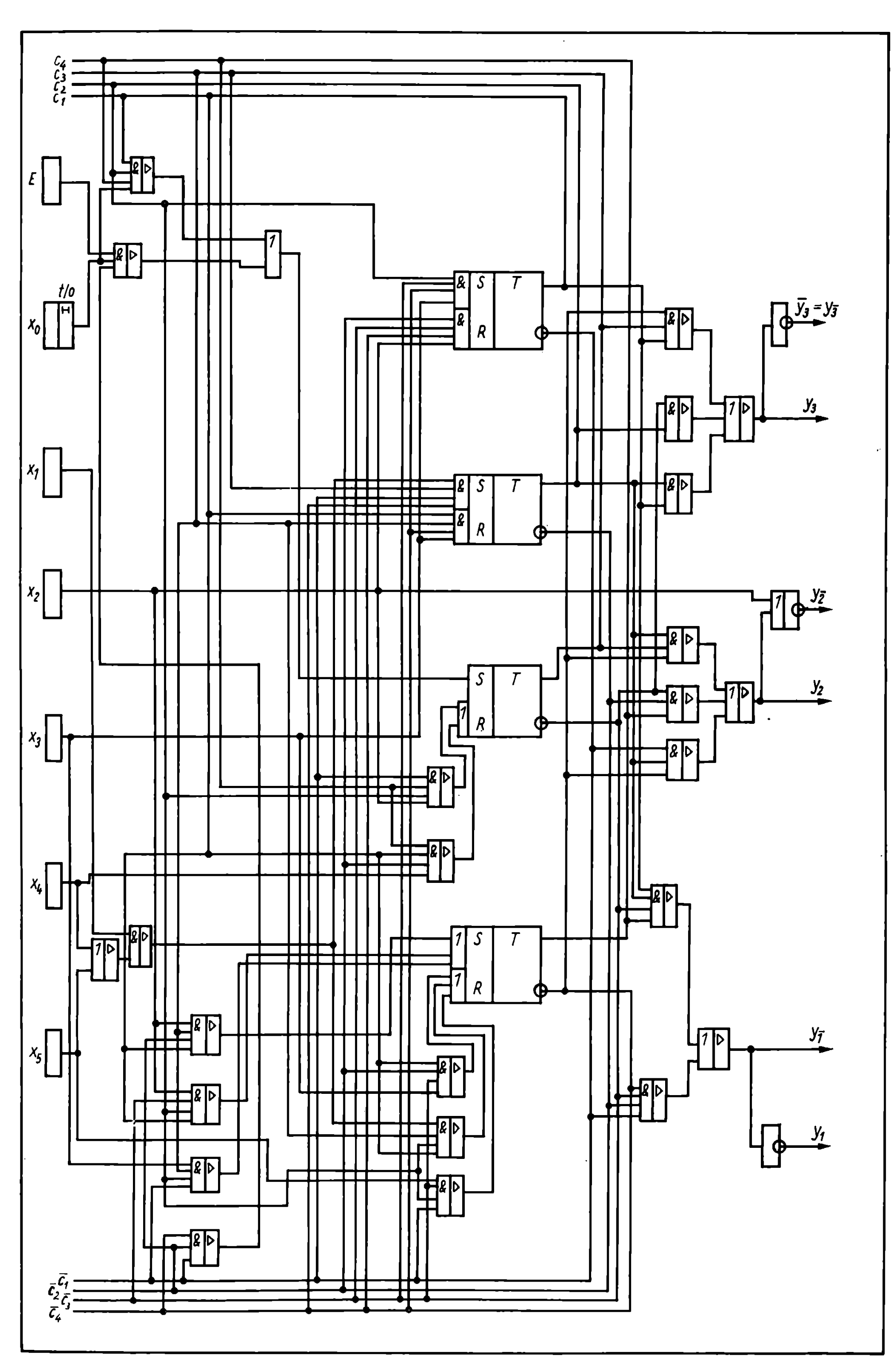


Bild 7. Signalflußplan für die speicherminimierte Steuerung

eingetragen. Das Verfahren ist nun dadurch charakterisiert, daß jedem Zustand ein Signalspeicher zugeordnet wird.
Der nachfolgende Zustandsspeicher wird gesetzt, wenn der vorangehende Zustandsspeicher gesetzt ist und das Übergangssignal in Erscheinung tritt. Das Ausgangssignal des nachfolgenden Zustandsspeichers löscht immer den vorangegangenen Zustandsspeicher. Signalwettläufe kommen bei dieser Art der Projektierung nicht vor. Pseudozustände sind also nicht notwendig. Da die Rückstellbefehle automatisch entstehen, hat das Verfahren den Vorteil, daß nur die Setzbefehle der Zustandssignalspeicher aus der Sequenzleiter abzulesen sind. Wenn die Signalspeicher so numeriert werden wie die Zustände, ergeben sich für diese Speicher folgende Setzbefehle:

$S_1 = Z_{14}x_2$; $S_2 = Z_1 Z_E x_{ov}$; $S_3 = Z_2 x_1 (x_4 \vee x_5)$;
$S_4 = Z_3 x_3$; $S_5 = Z_4 x_2$; $S_6 = Z_5 x_5$; $S_7 = Z_6 x_3$;
$S_8 = Z_7 x_2$; $S_9 = Z_8 x_{ov}$; $S_{10} = Z_9 x_1 (x_4 \vee x_5)$;
$S_{11} = Z_{10} x_3$; $S_{12} = Z_{11} x_2$; $S_{13} = Z_{12} x_4$;
$S_{14} = Z_{13} x_3$.

Für die Stellbefehle liest man aus der Sequenzleiter folgende Beziehungen ab:

$$y_{\bar{1}} = \bar{y}_1 = Z_1 \vee Z_8$$

$$y_1 = \bar{Z}_1 \bar{Z}_8$$

$$y_2 = Z_3 \vee Z_6 \vee Z_{10} \vee Z_{13}$$

$$y_{\bar{2}} = \bar{y}_2 \bar{x}_2$$

$$y_3 = Z_5 \vee Z_6 \vee Z_7 \vee Z_8 \vee Z_9 \vee Z_{10} \vee Z_{11}$$

$$y_{\bar{3}} = \bar{y}_3 \, .$$

Damit ist es möglich, diese Taktkettensteuerung z. B. als Signalflußplan darzustellen (Bild 8).
Die so abzuleitenden Taktkettensteuerungen haben folgende Vorteile:

– Besonders einfache und übersichtliche Ableitung der Steuerungsstruktur

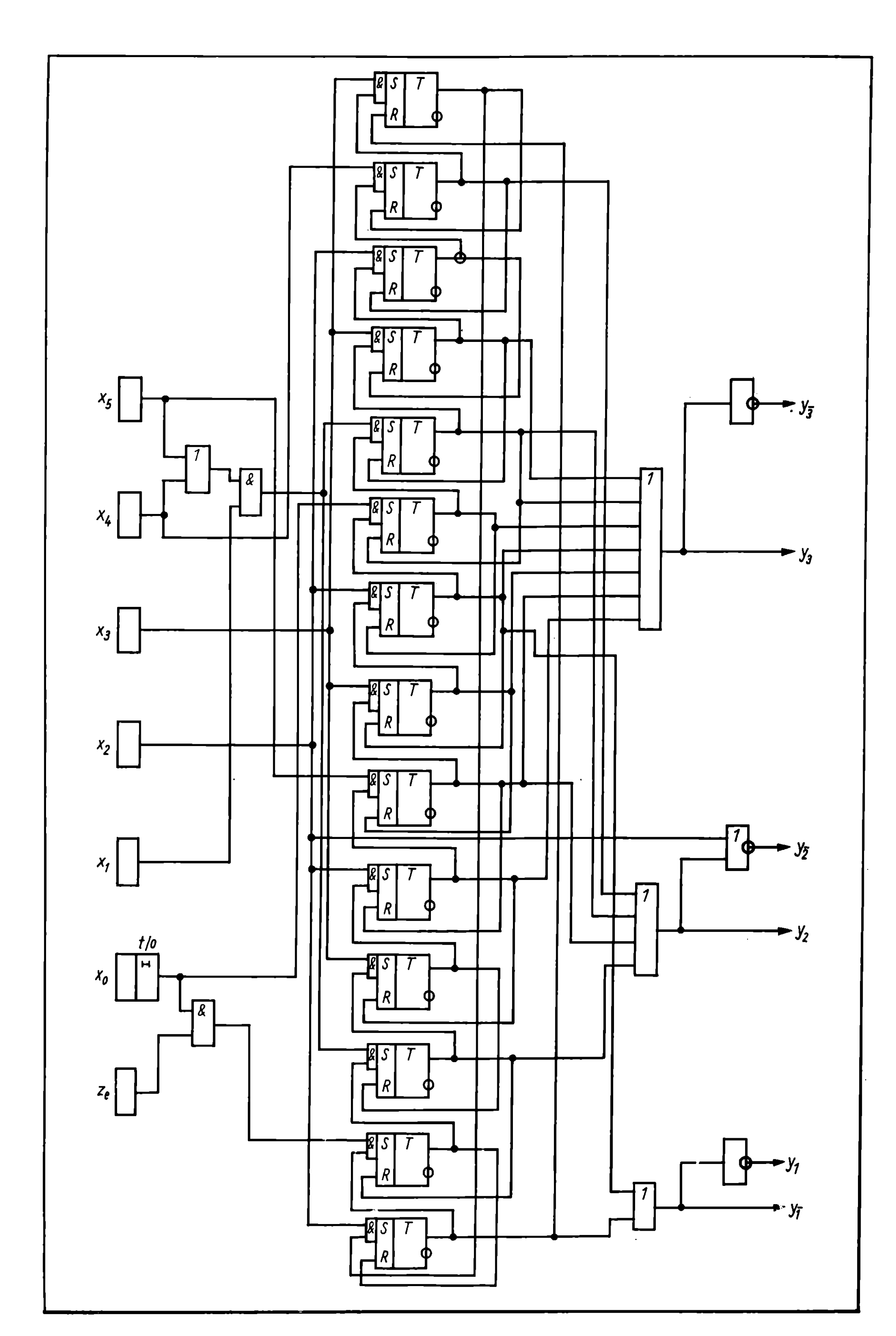


Bild 8. Taktkettensteuerung

- Keine Probleme mit Signalwettläufen
- Sehr übersichtlicher Aufbau der Steuerung, d. h. Ursachen von Störungen können leicht gefunden und beseitigt werden
- Sehr gut geeignet für den Einsatz von Standardbaugruppen [12]
- Sehr gute Eignung für die rechnergestützte Projektierung.

Als Nachteil steht dem gegenüber, daß eine hohe Anzahl von Signalspeichern benötigt wird. Das wirkt sich besonders ungünstig aus, wenn die Steuerung mit Relais aufgebaut werden soll. Wegen des hohen Kupferverbrauchs sollte die Taktkettenprojektierung bei der Entwicklung von Relaissteuerungen deshalb nicht eingesetzt werden. In der Elektromechanik empfiehlt sich zur Realisierung solcher Steuerungen der Einsatz von Kugelschrittschaltwerken [13].

Literatur

[1] *Stürz, H.; Cimander, W.:* Automaten. Berlin: VEB Verlag Technik 1972.

[2] *Zander, H. J.:* Entwurf von Folgeschaltungen. Band 158 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.

[3] Richtlinie zur Projektierung mit DRELOBA-Standardeinheiten, Teil 2: Entwurfsverfahren für Programmsteuerungen. VEB Reglerwerk Dresden 1975.

[4] *Töpfer, H.; Rudert, S.:* Arbeitsbuch Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.

[5] *Breier, J.:* Automatisierungstechnik: Praxis — Aufgaben — Lösungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.

[6] *Friedrich, A.:* Programmsteuerungen an Schmiedehämmern. msr, Berlin 15 ap (1972) 11, S. 243—246.

[7] *Friedrich, A.; Peter, P.:* Rationalisierung der Fertigung in Stanzereien. msr, Berlin 18 ap (1975) 10, S. 233—235.

[8] *Friedrich, A.:* Ein Schwerpunkt der Ausbildung im Automatisierungslabor: Rationalisierungsmittel-Programmsteuerungen. Die Fachschule (1980) 3, S. 60—64.

[9] *Friedrich, A.; Bennewitz, H.:* Kleinrechner KRS 4201 als Steuerungssimulator. msr, Berlin 23 (1980) 12, S. 704—706.

[10] *Bennewitz, H.; Friedrich, A.; Peter, G.:* Pflichtkonsultation beim KRS 4201 im LG Automatisierungstechnik. Die Fachschule (1981) 2, S. 35—37.

[11] *Friedrich, A.; Schulze, W.:* Anleitung zur Entwicklung von DRELOBA-Steuerungen. msr, Berlin 15 ap (1972) 5, S. 86 und 87, 6, S. 117 und 118, 7, S. 135 und 136.

[12] *Friedrich, A.:* Entwicklung und Bau von Programmsteuerungen unter Verwendung von universellen Programmsteuerbausteinen oder Standardprogrammen. msr, Berlin 25 (1982) 5, S. 270—272.

[13] *Friedrich, A.:* Senkung der Kosten bei der Entwicklung von Handhabegeräten und Sondermaschinen durch Einsatz preisgünstiger elektromechanischer Steuerungen. msr, Berlin 25 (1982) 12, S. 697 und 698.

msr 7883 (wird fortgesetzt)



AUS DER ARBEIT DER WGMA

Erfahrungen und Ergebnisse beim Mikrorechnereinsatz K 1500/K 1600

An der gemeinsam vom Fachunterausschuß 7.3 „Einsatzvorbereitung von Prozeßdatenverarbeitungsanlagen "(Leitung: Dr.-Ing. *W. Keddi*) im Fachausschuß 7 „Rechnersysteme und -anwendungen" der WGMA (Leitung: Dr.-Ing. *P. Kuntsche*) und vom Fachunterausschuß „Methodik des Prozeßrechnereinsatzes" (Leitung: Dr. sc. techn. *P. Metzing*) im Fachverband Chemische Technik der KDT am 17. und 18. November 1983 in Wolfersgrün durchgeführten Jahrestagung 1983 des FA 7 nahmen 27 geladene Fachkollegen aus der DDR teil. Auf dem Tagungsprogramm standen zehn Vorträge und ein Rundtischgespräch. In diesen wurden neben den Erfahrungen und Ergebnissen breiter Anwender der o. g. Gerätetechnik auch Entwicklungstendenzen der Mikrorechentechnik in der DDR aufgezeigt.
Im einzelnen wurde zu dem Vortrag von *H.-J. Hörig, L. Bökelmann, H. Kleiner* und *W. Weiß* (VEB KCW Buna) „Mikrorechnereinsatz für die Automatisierung des Karbidprozesses", zu dem Vortrag von *G. Hollnagel* (VEB Robotron ZFT) „Erfahrungen bei Einsätzen des Betriebssystems MOOS 1600 in Echtzeitanwendungen" sowie zu den Beiträgen von *J. Richter* (TU Dresden) „Verallgemeinerung einer gerätetechnischen Lösung für Probleme der Laborautomatisierung", von *B. Kirmse* (VEB MBF Dessau) „Steuerung der Schnittauslösung an einer Beschichtungsmaschine mittels K 1520" und von *W. Fritzsch* (TH Karl-Marx-Stadt) „Aspekte des Rechnereinsatzes bei flexiblen Fertigungen" diskutiert. Des weiteren informierten *H. Böhlert* (TH Magdeburg) zu einem in Arbeit befindlichen gesellschaftlichen Standpunkt zur Laborautomatisierung, *H. Löffler* und *G. Neidhold* (TU Dresden) zum Stand der Forschung und des Einsatzes von lokalen Rechnernetzen und *F. Cunow* (VEB GRW Teltow) zum Einsatz des Automatisierungssystems audatec.
Die von einem Autorenkollektiv verfaßte und 1984 im KDT-Eigenverlag als Broschüre erscheinende „Sammlung methodischer Unterlagen zur Prozeßautomatisierung mit Hilfe von Automatisierungsmitteln auf mikroelektronischer Basis" stellte *P. Metzing* (TH Leuna-Merseburg) vor. Die Diskussion zeigte, daß diese Sammlung für alle Anwenderkreise von Interesse ist.
In dem Vortrag von *H. Willem* und *P. Kuntsche* (VEB Robotron, ZFT) „Darlegung der rechnertechnischen Basis für Erzeugnisse des Kombinates Robotron ab 1985" wurden die Teilnehmer über laufende bzw. vorgesehene Entwicklungen vorinformiert.
Erfahrungen bei der Organisation der Nachnutzung von Mikrorechnersoftware und von Systemlösungen standen im Mittelpunkt des Rundtischgespräches.
Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß in den vertretenen Industrie- und Hochschulbereichen große Anstrengungen unternommen werden, um einerseits wissenschaftlich-technischen Vorlauf zu erarbeiten und andererseits einen effektiven Einsatz der Geräte- und Programmtechnik zu gewährleisten. Wichtige Voraussetzungen für eine noch schnellere Entwicklung des Einsatzes der Mikrorechentechnik in der DDR sind eine noch engere und effektivere Zusammenarbeit zwischen den Herstellern und Anwendern, ein reger Erfahrungsaustausch zwischen den Anwendern sowie der zielgerichtete Ausbau der projektierungs- und nutzerorientierten Aus- und Weiterbildung auf dem Gebiet der Mikrorechentechnik und deren Anwendung. Aus dem Erfahrungsaustausch dieser Jahrestagung 1983 schöpften sowohl die Entwickler als auch die Anwender vielfältige Anregungen.
Interessenten wenden sich bei Anfragen direkt an die Autoren der einzelnen Vorträge.

msr 8064 *W. Keddi*, VEB Filmfabrik Wolfen, Stammbetrieb des VEB Fotochemisches Kombinat



TAGUNGEN UND KOLLOQUIEN

Ergebnisse der Industrieroboterforschung an der AdW der DDR

Unter der Schirmherrschaft des Präsidenten der AdW der DDR, Prof. Dr. Dr. h. c. *W. Scheler*, fand am 21. und 22. Februar 1984 in Berlin eine wissenschaftliche Arbeitskonferenz zu „Ergebnissen der Industrieroboterforschung an der AdW der DDR" statt, die vom Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) veranstaltet wurde.
Rund zwei Jahre nach Bestätigung der „Konzeption zur inhaltlichen und organisatorischen Entwicklung der Roboterforschung an der AdW der DDR" wurde vor etwa 70 führenden Wissenschaftlern und Spezialisten aus Einrichtungen des Hochschulwesens, der Industrie und der Akademie in 18 Vorträgen ein Gesamtüberblick über die an der Akademie erzielten Ergebnisse und bearbeiteten Aufgaben zur Roboterforschung gegeben. Die Veranstaltung diente dem Ziel, die in Kooperation mit den Einrichtungen des Hochschulwesens und der Industrie sowie im Zusammenwirken der Akademieinstitute erbrachten Leistungen zu diskutieren, über Wege einer noch engeren Zusammenarbeit zu beraten und die Stoßrichtungen der weiteren Forschung zu präzisieren. Folgende Schwerpunkte wurden behandelt:

- Effektivitätsbewertung des Industrierobotereinsatzes
- Steuerung flexibler Fertigungssysteme
- Entwurf neuer mechanischer Roboterkonfigurationen
- Sensorsysteme für Industrieroboter
- Adaptive Regelung und Steuerung von Industrierobotern
- Systeme der Künstlichen Intelligenz (visuelle 3D-Erkennung, Handlungsplanung).

Ausgehend von der strategischen Bedeutung, die der komplexen Automatisierung und dem schrittweisen Übergang zur flexiblen Automatisierung für die Steigerung der Arbeitsproduktivität und die Beschleunigung des Innovationszyklus zukommt, wurde während der Konferenz auf die Notwendigkeit hingewiesen, für die Vorbereitung und Durchsetzung dieses neuen Typs der Automatisierung Strategien zu erarbeiten und zu bewerten. Hierzu wurde das Konzept eines rechnergestützten Entscheidungsmodells entwickelt. Die Realisierung dieses Konzepts wird die interaktive Simulation von Grundstrategien und Strategievarianten der flexiblen Automatisierung ermöglichen.
Hochgradig niveaubestimmend für flexible Fertigungssysteme ist das Steuerungssystem. Bei der Untersuchung der Algorithmen sowie der Synchronisation von Steuerungsmoduln wird von Modellen ausgegangen, die als zeitbewertete Petri-Netze darstellbar sind und durch Simulation analysiert werden. Hierzu wird ein Netzentwicklungssystem erarbeitet, mit dem sowohl im Stapelbetrieb als auch graphisch-interaktiv Modelle generiert werden können, anhand derer z. B. Einlast- und Ablaufstrategien für den Werkzeugmaschinenbau ermittelt werden können.
Eine wichtige Komponente flexibler Fertigungssysteme ist der Roboter, den es in seiner mechanischen Konfiguration den produktionstechnischen Erfordernissen anzupassen gilt. Diesem Problem war ein Vortrag gewidmet, in dem Programmentwicklungen zur Kinematik, Dynamik und Steuerung vorgestellt wurden.
Daß die Sensortechnik im Vortragsprogramm den breitesten Raum einnahm, ist sicher auch auf die langjährige, nicht

vordergründig roboterspezifische Forschungsarbeit der auf diesem Gebiet tätigen Institute zurückzuführen; die Bedeutung der Sensorik für die Erschließung neuer IR-Einsatzgebiete sowie für die Effektivität und Flexibilität bestehender Lösungen rechtfertigt jedoch diese Akzentuation. Es wurde zur Konzeption eines Sensorbaukastens berichtet, der die Schaffung von Systemlösungen für Industrieroboter der 2. Generation und die Konfigurierung von Lösungen für spezifische Aufgaben gestattet, sowie Entwicklungen konkreter Sensormoduln wie ein Sechskomponenten-Kraft-Moment-Sensor, ein positionsempfindlicher Silizium-Fotoempfänger, ein thermischer Miniatur-Strahlungssensor sowie Lichtleitfaser- und fluidische Sensoren vorgestellt. Besondere Erwähnung verdienen die Ergebnisse zur CCD-Zeilenkamera, die bereits in die Produktion überführt wurden und im Robotertechnikum der AdW beim Aufbau einer Prinziplösung zum definierten Greifen ungeordnet abgelegter Teile genutzt wurden.
Zu den flexibilitätsbestimmenden Komponenten eines Robotersystems gehören neben der Sensorik leistungsfähige Programmier- und Steuerungssysteme. Im Rahmen dieses Komplexes wurde ein modulares transportables Softwaresystem zur Steuerung von Industrierobotern vorgestellt, das für alle Komponenten des Robotersystems (Roboter, Antriebe, Regelung, Sensorik, Prozeßsteuerungssystem u. a.) angepaßte Moduln bereitstellt und zur Generierung anwendungsspezifischer Software genutzt werden kann. Zur textuellen Off-line-Programmierung dient eine speziell entwickelte bewegungsorientierte höhere Robotersprache.
Ferner wurde über den Entwurf eines adaptiven Bahnreglers vom Feedback-feedforward-Typ für Industrieroboter und dessen Anwendung unter Berücksichtigung von Sensorinformationen beim Schleifen und Entgraten berichtet.
Selbstverständlich wurden während des Arbeitsseminars auch Fragen der Künstlichen Intelligenz berührt, deren Ergebnisse dazu beitragen werden, den Industrieroboter mit qualitativ höheren Fertigkeiten zu versehen. Von fundamentaler Bedeutung ist hierbei die Schaffung eines Umweltmodellierungssystems sowie einer modellorientierten Robotersprache zur Beschreibung von Objektbewegungen. Hierzu konnte auf erste Ergebnisse verwiesen werden. Zur interaktiven bzw. automatischen Generierung von Handlungsplänen unter Berücksichtigung der Kollisions- und Störungsproblematik mit der Montageautomatisierung als technischem Hintergrund wurden konzeptionelle Vorstellungen und erste Lösungsansätze vorgestellt.
Schließlich wurde der Aufbau eines Algorithmus zur visuellen 3D-Bilderkennung erläutert, der sich in der Implementierungsphase befindet und anhand konstruierter Beispiele erprobt wird.
Wichtiger Bestandteil der Arbeitskonferenz war eine Rundtischdiskussion zum Thema „Technisch-ökonomische Einflußfaktoren auf die Effektivität des Industrierobotereinsatzes". Sie diente dem Ziel, die langfristigen Forschungsziele an der Akademie mit den Erfordernissen in der Praxis zu kombinieren und Schlußfolgerungen für die weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu ziehen.
Auf der Grundlage vorbereiteter Beiträge und während der Diskussion geäußerter Fragen, Meinungen und Probleme konnten forschungsspezifische Aspekte für die Erhöhung der Leistungsfähigkeit und der ökonomischen Effektivität des Industrierobotereinsatzes herausgearbeitet werden.
Die Kurzfassungen der Vorträge sowie ein zusammenfassender Bericht der Rundtischdiskussion sind in einem Sammelband publiziert und können auf Anforderung interessierten Einrichtungen zur Verfügung gestellt werden.

msr 8084 *W. Kolbe*

Studentenkonferenz „Mikroelektronik" an der TH Karl-Marx-Stadt

Am 15. und 16. Februar 1984 wurde an der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt (THK) die II. Zentrale interdisziplinäre wissenschaftliche Studentenkonferenz „Entwicklung und Anwendung der Mikroelektronik" durchgeführt. An dieser Veranstaltung, die im Auftrag des Ministers für Hoch- und Fachschulwesen der DDR und des Zentralrates der FDJ ausgerichtet wurde, nahmen etwa 270 Studenten und junge Wissenschaftler von 27 Universitäten, Hochschulen, Ingenieurhochschulen und Ingenieurschulen der DDR sowie Vertreter der TH Plžen (ČSSR) und der TH Varna (VR Bulgarien) teil. Mit rund 115 Vorträgen, die im Plenum und in 8 Arbeitsgruppen gehalten wurden, gestaltete sich die Konferenz zu einem breiten Erfahrungsaustausch über neueste wissenschaftliche Erkenntnisse auf dem Gebiet der Herstellung mikroelektronischer Schaltkreise, ihrer Applikation und der gesellschaftlichen Aspekte ihres Einsatzes.
Den ersten Plenarvortrag „Die Rolle der Mikroelektronik bei der Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und der Verwirklichung der Hauptaufgabe" hielt Prof. Dr.-Ing. habil. *M. Krauß*, Rektor der THK. Dr. *W. Posner*, Sekretär des Zentralrates der FDJ, sprach „Zu den Aufgaben der FDJ-Studenten und jungen Wissenschaftler bei der weiteren Verwirklichung des Friedensaufgebotes der FDJ". Über „Die sozialökonomischen Auswirkungen der Mikroelektronik auf die Gesellschaft" referierte Prof. Dr. sc. habil. *E. Jobst* (THK). Zwei weitere Plenarvorträge über den Einsatz von Nähroboter-Steuerungen und eine praxisgerechte Mikroelektronik-Ausbildung hielten der Student *B. Aschenbach* (THK) bzw. der Forschungsstudent *U. Hübner* (THK). Der Inhalt dieser 5 Plenarvorträge erscheint in der Wissenschaftlichen Schriftenreihe der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt.
Die Beratung der Forschungsergebnisse erfolgte in 8 Arbeitsgruppen mit folgenden Themenkomplexen:

- Physikalische Grundlagen der Mikroelektronik (AG 1)
- Mikroelektronische Schaltkreise (AG 2)
- Mikroelektronik-Applikation in der Informationstechnik, Rechentechnik und Datenverarbeitung (AG 3)
- Mikroelektronik in der Roboter- und Handhabetechnik (AG 4)
- Mikroelektronik-Applikation in der Gerätetechnik (AG 5)
- Einsatz der Mikroelektronik in der Industrie (AG 6)
- Anwendung der Mikroelektronik für Leitung, Planung und Organisation der Volkswirtschaft (AG 7)
- Gesellschaftswissenschaftliche Aspekte beim Einsatz der Mikroelektronik (AG 8).

Die Manuskripte der im Rahmen dieser Arbeitsgruppen gehaltenen Vorträge können entsprechend den gültigen gesetzlichen Bestimmungen als Kopie von der Bibliothek der TH Karl-Marx-Stadt angefordert werden.

msr 8078 *H.-J. Menzel*

5. Fachtagung Brand- und Explosionsschutz „Nichtstandardisierte Schutzmaßnahmen und Schutzmittel"

Unter diesem Leitthema vermutet man Neues. Wer nur deshalb am 30. und 31. Januar 1984 zur Tagung des Fachausschusses „Brand- und Explosionsschutz" (Fachverband Chemische Technik, Wissenschaftliche Sektion Arbeitsingenieurwesen) nach Dresden kam, erfuhr sehr bald, daß es viele mehr oder minder bekannte Mittel und Methoden gibt, die nicht technisch standardisiert sind.
H. Metzner (Technische Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, Vors. des Fachausschusses) begründete einleitend, weshalb man angesichts der technischen Vielfalt nicht alle Schutzmaßnahmen und -elemente durchgängig standardisieren kann. Alle Schutzmaßnahmen außerhalb von verbindlichen Auslegungs-, Prüf-, Zulassungs- und Anwendungsvorschriften gelten als „nichtstandardisierte Schutzmaßnahmen und -elemente". Ökonomisch akzeptable Schutzsysteme oder Ausweichlösungen kommen oft nur in Kombination von standardisierten und nichtstandardisierten Maßnahmen zustande. Manche neue Technologie oder Rekonstruktionsmaßnahme läßt sich sonst nicht verwirklichen (Anm.: auf elektrotechnischem Gebiet z. B. durch ergänzende Verriegelungsschaltungen, Signalanlagen, Notschalteinrichtungen usw.). In volkswirtschaftlichem Interesse muß für sachgemäß vorbereitete und angewendete nichtstandardisierte Schutzmaßnahmen und -elemente volle Rechtssicherheit bestehen.

G. Grundmann (Technische Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg) betrachtete das Leitthema aus juristischer Sicht. Welche Verantwortung haben dabei die Kombinate und Be-

triebe? § 3 ASVO und TGL 30042, TGL 30101 sowie TGL 30102 regeln sowohl die Ziele des Brand- und Explosionsschutzes als auch die Methoden. Unmittelbar anzuwendende Schutzmaßnahmen oder -mittel sind dagegen nur für einen beschränkten Teil der Gesamtheit des Brand- und Explosionsschutzes standardisiert. Umfassende Schutzgüte wird dann erst durch ergänzende „betriebliche Regelungen" im Sinne der ASVO möglich. In diesen Dokumenten ist jeweils festzulegen, mit welchen sachbezogenen Schutzmaßnahmen, -mitteln und -elementen der jeweiligen Gefährdung begegnet werden muß.

Entgegen mitunter zu hörender Auffassung sind betriebliche Regelungen im juristischen Sinn keine Rechtvorschriften, obwohl sie für die Werktätigen in ihrer Verbindlichkeit mit Rechtsvorschriften auf gleicher Stufe stehen.

Th. Wartner (Zentralstelle für Schutzgüte des Ministeriums für chemische Industrie) erläuterte, wie sich die nichtstandardisierten Schutzmaßnahmen in das Gesamtsystem der Schutzgüte eingliedern. Allein anhand der bekannten Schutzziele des Brand- und des Explosionsschutzes kommt kein Schutzsystem mit gefahrloser Technik zustande. Außerdem fehlen noch immer praktikable Bewertungsverfahren zur sicherheitstechnischen Qualität der Schutzsysteme und Kennziffern für das tragbare Restrisiko. Normative und Richtlinien können nur bereits erkannte Probleme regeln. Ohne vorausschauende Gefährdungsanalyse fehlt die Grundlage zur Schutzgüte im Zusammenspiel komplizierter Funktionseinheiten. Brand- und Explosionsgefährdungen müssen vom Entstehungsort, z. B. innerhalb von Chemieapparaten, bis zum entferntesten Punkt in der betreffenden Arbeitsstätte erkannt und beurteilt werden. Beim Entwurf der Schutzsysteme dürfen Zuverlässigkeit und Ökonomie nicht außer acht bleiben. Nichtstandardisierte Bestandteile von Schutzsystemen haben in jedem Fall anlagenspezifischen Zuschnitt, setzen fundierte Kenntnisse der jeweiligen Gefährdungssituation voraus und müssen nach anerkannten wissenschaftlich-technischen Grundlagen entworfen werden. Anders ist Schutzgüte — als höchste Form sicherheitstechnischer Qualität — nicht erreichbar.

W. Kamm (BDVP Cottbus, Abt. F) behandelte die Brandbekämpfung exponierter Kabelräume mit Heißwasser. Überaus starker Rauch, giftige Verbrennungsprodukte und hohe Brandtemperaturen waren meist Anlaß zur Wahl stationärer Löscheinrichtungen. Ein neues Verfahren vermeidet den hohen Kostenaufwand für herkömmliche Wassersprühanlagen. In Kraftwerken verfügbares Heißwasser (0,87 MPa, 130 bis 170 °C) tritt durch halbkugelförmige Düsen mit einer Vielzahl von Bohrungen. Sofortige Kondensatbildung unterstützt den Löscheffekt. Im Versuch war bereits nach $\leqq$ 120 s der Sauerstoffanteil an der Brandstelle unter den Schwellwert abgesunken. Die Kabelkerntemperatur erreichte nur 176 °C.

G. Rietz (Technische Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg) informierte über den Einsatz von Dämmschichtbildnern. Dämmschichtbildner (DSB) sind zu unterscheiden von Lacken mit erhöhter Temperaturbeständigkeit, flammenwidrigen Lacken oder verkohlungsfähigen Plastschaumstoffen. Im Brandfall einsetzende Verkohlung der bis 1 mm dick aufgetragenen DSB und 30- bis 100fache Volumenvergrößerung erhöhen den Feuerwiderstand von Holz, Plasten und Stahl um mindestens 30 min (fw $\geqq$ 0,5). DSB erfordern eine Korrosionsschutzgrundierung — z. B. auf Stahl — und eine dekorative Deckschicht mit üblichem Lack. Feuchtigkeit beeinträchtigt die Schutzwirkung. DSB eignen sich prinzipiell auch für Kabel in Kanälen oder Räumen. Hersteller in der DDR ist der VEB Lackfabrik Stralsund. Das Auftragen der DSB stellt keine besonderen Anforderungen. Als Nachteile sind z. Z. noch die Kosten und die Beschränkung auf Innenräume zu nennen.

H. Wolf (Technische Universität Dresden, Mitautor *G. Beck*, Forschungszentrum für Mechanisierung der Landwirtschaft Schlieben-Bornim) berichtete über Möglichkeiten des Staubexplosionsschutzes in der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft mit Schutzgas. Das Absenken des Sauerstoffgehaltes im Gasraum eines explosionsgefährdeten Systems durch Schutzgas verhindert Brände und Explosionen. Vielfältige Einflußfaktoren ließen bisher keine durchgängige Vereinheitlichung oder Standardisierung dieses Verfahrens zu. Es verlangt geschlossene technologische Anlagen mit hinreichender Gasdichtheit, ökonomische Möglichkeiten zur Schutzgasversorgung und MSR-Kontrolle des Sauerstoffgehaltes. Neben den entscheidenden Vorteilen dieser Maßnahme des primären Explosionsschutzes gibt es Nachteile durch hohen Investitionsaufwand, hohe Dichtheitsbedingungen und — speziell im Industriezweig — durch die erforderliche Schutzgasbereitstellung. Als spezifische Anwendungsfälle wurden vorerst die Extraktion von Ölsaaten und das Anfahren von Biogasanlagen behandelt.

B. Reimer (VEB Chemiekombinat Bitterfeld) ging auf die Besonderheiten der Beurteilung von Explosionsgefahren in technologischen Einrichtungen ein. Dafür liegen keine verbindlichen Richtlinien vor. In Anlagen der stoffwandelnden Industrie setzen die Vielzahl möglicher reaktionsfähiger Systeme und Zündquellen innerhalb von Apparaten (auch mechanischer Energieumsatz oder elektrostatische Effekte) andere Beurteilungsmaßstäbe als in Arbeitsstätten. Störzustände müssen gewissenhaft einbezogen werden. Tabellierte sicherheitstechnische Kennzahlen treffen oft nicht zu, weil sie den jeweils vorliegenden Zustand der gefährdenden Stoffe nicht erfassen. Das Beurteilen der Explosionsgefahr in technologischen Einrichtungen ist eine sehr komplexe und umfangreiche Aufgabe. Der Beurteilende muß alle denkbaren Zustände gewissenhaft analysieren und anhand von TGL 30101, TGL 30102 und TGL 30104 nach angepaßten Schutzmaßnahmen suchen.

B. Dyrba (Mitautoren *H. Böhme* und *H. Büttner*, VEB Chemische Werke Buna) befaßten sich mit Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit in der Azetylenchemie. Azetylen ist ein chemisch instabiles brennbares Gas, das bei Zufuhr ausreichender Zündenergie explodiert oder sogar detoniert. Für Azetylenanlagen gilt seit 1. April 1980 TGL 30337. Dieser Standard schließt — wie bisher ABAO 870 und ABAO 871 — die chemische Weiterverarbeitung von Azetylen sowie alle Hilfs- und Nebeneinrichtungen aus. Dafür hat der Betriebsleiter gemäß § 1 (1)d ASVO betriebliche Weisungen zu erlassen. Für das Betreiben von Anlagen der Azetylenchemie liegen solche Regelungen seit längerem vor. Für das Konstruieren, Projektieren und Errichten solcher Anlagen wurde im VEB Chemische Werke Buna ein Richtlinienwerk erarbeitet, das die Grundlagen für eine optimale Zuordnung sicherheitstechnischer Maßnahmen enthält. Ab 1985 soll die erarbeitete Richtlinie in einen Werkstandard überführt werden.

D. Hempel (Mitautor *H.-J. Kutzer*, Institut für Bergbausicherheit Freiberg) behandelte Schutzmaßnahmen gegen Gefahren durch pyrophore Stoffe. In Gaserzeugungsanlagen, Rohrleitungssystemen, beim Hochofenprozeß und bei speziellen technologischen Prozessen können technologisch bedingt oder durch Abrieb Stäube auftreten, die sich bei Luftzutritt von selbst zur Zündquelle aktivieren. Diese Stäube werden als pyrophore Stoffe bezeichnet. Nach dem zeitlichen Erwärmungsverlauf wurden vier Grade der Pyrophorität (0, I, II, III) definiert, um entsprechende Schutzmaßnahmen zuzuordnen. Für vorbeugende Schutzmaßnahmen kommt es besonders darauf an, nach mehreren Methoden die Pyrophorität eindeutig nachzuweisen. Ausführliche Darlegungen zu diesem Themenkomplex haben die Autoren in Chemische Technik 35 (1983) 10, S. 525—529, publiziert.

W. Kröger, (Technische Hochschule „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg) trug anhand eines praktischen Beispiels vor, welche theoretischen Grundlagen zur optimalen Belüftung von Betriebsräumen anzuwenden sind. Die oft zitierte Beziehung, mit der aus der Stofflast, dem Raumvolumen und der Luftwechselzahl errechnet werden kann, wie sich der Schadstoffvolumenstrom über die Zeit exponentiell verändert, setzt gleichmäßige Schadstoffausbreitung im Raum voraus. Das trifft aber praktisch kaum zu. Grundsätzlich muß nach instationärer und stationärer Schadstoffausbreitung unterschieden und die jeweils zutreffende Berechnungsmethode angewendet werden. Für eine Kompressorenhalle war es möglich, den Lüftungsaufwand durch flexible Fahrweise der lüftungstechnischen Anlagen wesentlich zu senken. Grundlage für die Veränderung bildete eine systematische Ermittlung der Emissionsquellen nach örtlicher Lage und emittierter Stoffmenge und die Untersuchung der Luftverteilung in der Halle mit Bezug auf das Betriebsregime der technologischen Anlage.

M. Arnold (VEB Gaskombinat Schwarze Pumpe) ergänzte dieses Thema mit betrieblichen Erfahrungen bei der Auslegung von Lüftungsanlagen in Analysenmeßräumen. Zur rechnerischen Bestimmung des erforderlichen Luftvolumenstromes müssen u. a. die zu beseitigende Schadstoffmenge — d. h. die Stofflast als Massen- oder Volumenstrom — bekannt sein, und es ist ein Gütefaktor f für die Qualität der Luftführung bzw. Luftdurchmischung im Raumvolumen einzusetzen.

Als Ergebnis betrieblicher Ermittlungen entstehen an gelockerten Rohrverschraubungen NW 12 mit Schneidring Gasemissionen bis 0,035 $m^3 \cdot h^{-1}$ bei 303 K und 7848 Pa Überdruck. Schlauchabriß

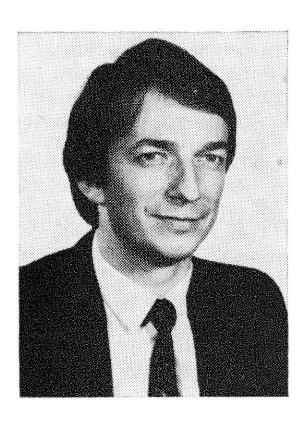
an den Geräten Infralyt und Permolyt läßt 0,02 $m^3 \cdot h^{-1}$ Meßgas ausströmen. Vor allem das Abschätzen von f (meist $0{,}1 < f < 1$) führt oft zu Auslegungs- oder Beurteilungsfehlern. Anhand eines Nomogrammes können mit $f = 1$ optimale Parameter für den stündlichen Luftwechsel bei guter Luftdurchmischung bestimmt werden.
J. Pester (VEB Chemieanlagenbaukombinat Leipzig-Grimma) zeigte Anwendungsmöglichkeiten standardisierter und nichtstandardisierter Lütfungsmaßnahmen in Analysenmeßanlagen. Je nach Ausbreitungsverhalten und örtlicher Herkunft der gefährdeten gasförmigen Stoffe — ob von außen und/oder aus der Meßanlage — muß zuerst gemäß TGL 30042 die zu erwartende Explosionsgefährdung ohne Lüftungsmaßnahme bekannt sein. Der Aufwand für eine „fremdbelüftete Anlage" gemäß TGL 200-0621/03 bleibt erspart, wenn die erkannte Gasexplosionsgefährdung gering ist — z. B. EG 4 — und durch nichtstandardisierte lüftungstechnische oder andere Maßnahmen des primären Explosionsschutzes beseitigt werden kann. Je nach Gefährdungssituation und Gerätekonzeption im Analysenmeßraum eignen sich auch Lösungsvarianten in Kombination von allgemeiner Raumlüftung mit fremdbelüfteten Schränken. Ein Entscheidungsschema, ergänzt mit orientierenden Tabellen und Grafiken, führt zur Auswahl der jeweils günstigsten lüftungstechnischen Konzeption im „Gutachten zur Brand- und Explosionsgefährdung" (TGL 30042).

Es ist vorgesehen, sämtliche Vorträge dieser Fachtagung in ausführlicher Fassung zu veröffentlichen. Interessenten merken sich vor: Reihe Brandschutz, Explosionsschutz — aus Forschung und Praxis, Band 13, Staatsverlag der DDR 1985.

msr 8076 *J. Pester*

msr DISSERTATIONEN

Entscheidungsvorbereitung in der Kombinats- und Betriebsplanung mit Hilfe der Unschärfe-Theorie und der Komplexmethode



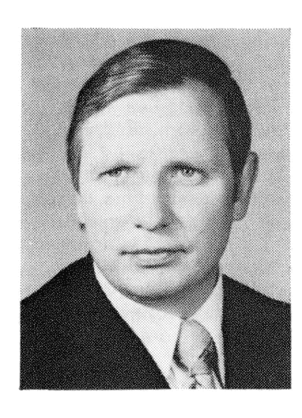
Günter Peißker wurde am 4. Juni 1950 geboren. 1969 bis 1974 Studium an der T. G.-Schewtschenko-Universität Kiew, Fachrichtung Ökonomische Kybernetik. 1974 bis 1977 wissenschaftlicher Assistent an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (MLU), Sektion Wirtschaftswissenschaften, WB Informationsverarbeitung. 1977 Abschluß Promotion A. 1978 bis 1981 Praxistätigkeit. Seit 1982 wissenschaftlicher Oberassistent an der MLU, WB Informationsverarbeitung.
Dissertation B an der Fakultät für Rechts- und Wirtschaftswissenschaften des Wissenschaftlichen Rates der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Halle, 26. Juli 1983.

Doktorand: Dr. oec. *G. Peißker*
Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr. sc. oec. *P. Thal*
Gutachter: Doz. Dr. sc. oec. *W. Lassmann*
Prof. Dr. rer. oec. habil. *H.-G. Lauenroth*
Prof. Dr. sc. oec. *A. Weidemeier*
Die Dissertation kann nur über die Universitäts- und Landesbibliothek Halle entliehen werden.

Entscheidungsprozesse werden in bezug auf Optimierungs- und Algorithmierungskonzepte unterschiedlicher Komplexitätsstufen für Planung und Steuerung, Softwarepotenzen, Strategien rechnergestützter Informationssysteme und Möglichkeiten des Leiter-Rechner-Dialogs bei differenziertem Bestimmtheitsgrad der die Entscheidungssituationen determinierenden Bedingungen im Kombinat und Betrieb untersucht. Ausgehend von der Fuzzy-Theorie erfolgt für unterschiedliche Unschärfesituationen im Planungsprozeß die Begründung und Entwicklung praktikabler linearer Fuzzy-Optimierungs- und Fuzzy-Präferenzentscheidungsmodelle sowie ihre Anwendung auf unterschiedlicher Leitungsebene und bei differenziertem Zeithorizont. Die Realisierung auf ESER-Anlagen beweist die effektive rechentechnische Beherrschbarkeit dieser neuen Modellierungsstrategie. Zur Überwindung von Nachteilen der Fuzzy-Optimierung werden verschiedene Varianten ihrer Kopplung mit der Komplexmethode entwickelt.
Für ungelöste Fragen bei der optimalen Matrixvariation mit der Komplexmethode werden Anwendungskonzepte der Fuzzy-Präferenzentscheidungsmodelle entwickelt. Bei der Aufbereitung zukunftsträchtiger Richtungen der Fuzzy-Optimierung ist ihre Anwendung auf die Polyoptimierung als ein Schwerpunkt deutlich geworden. Die Untersuchungen zur Weiterentwicklung und Anwendung der Komplexmethode als zweiter entscheidender Strategie bei der Beherrschung von Unschärfesituationen konzentrieren sich auf Kombinatsmodelle (Zweiebenenplanung, Kooperationsmodell), die Erarbeitung materialökonomischer Strategien (relative und absolute Fondsfreisetzung, Fondsrückgabe, Materialsubstitution), die Ausarbeitung effektiver Intensivierungsstrategien.
Erstmals untersucht und für die Kombinatsplanung aufbereitet wird die optimale Matrixvariation mit kostenberücksichtigender Zielfunktion in einem Optimierungsmodell für die Ermittlung der optimalen Variation der veränderungswürdigen Matrixelemente sowie die zielintensive Vorgehensweise der Komplexmethode, die die Kopplung der Erzeugnis- mit der Verfahrensinnovation herstellt.

msr 8065 Doz. Dr. sc. oec. *G. Peißker*, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Wirtschaftswissenschaften, Wissenschaftsbereich Informationsverarbeitung, 4020 Halle, Große Steinstr. 73.

Ein Beitrag zur Prozeßsicherung eines Ammoniak-Harnstoff-Produktionsstranges



Karl-Ernst Pfeiffer wurde am 6. März 1941 in Breslau geboren. Von 1963 bis 1968 Studium an der TH für Chemie „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg, Sektion Verfahrenstechnik. Im VEB Agrochemie Piesteritz zunächst Tätigkeit als Berechnungsingenieur in der ingenieur-technischen Forschung, ab 1970 Fachbereichsleiter für Prozeßoptimierung und -steuerung. Seit 1981 Abteilungsleiter für Prozeßsteuerung und -lenkung.
Dissertation A an der Fakultät Technik und Naturwissenschaften des Wissenschaftlichen Rates der Technischen Hochschule Leipzig. Leipzig, 15. Dezember 1983.

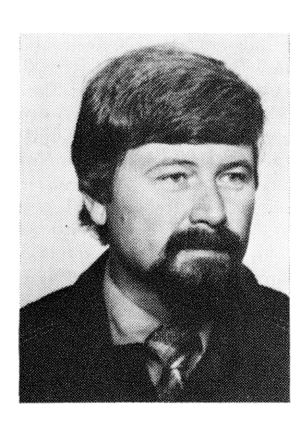
Doktorand: Dipl.-Ing. *K.-E. Pfeiffer*
Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr. sc. techn. *H.-G. Woschni*
Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. *D. Balzer*
Prof. Dr. sc. techn. *H.-J. Hörig*
Prof. Dr. sc. techn. *J. Kardos*
Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der TH Leipzig entliehen werden.

Das angestrebte Maß der Intensivierung bedeutet für die Mehrzahl chemisch-technologischer Prozesse eine unumgängliche Annäherung an ihre Stabilitätsgrenze. Neben den Aufgaben zur Prozeßstabilisierung und -optimierung kommt in jüngster Zeit die Aufgabe der Prozeßsicherung hinzu. Infolge der gestiegenen Komplexität moderner Chemieanlagen hat sich der Aufwand für die Automatisierungstechnik ständig erhöht, und es tritt der unerfreuliche Nebeneffekt auf, daß die in diesen Anlagen installierte Automatisierungstechnik selbst Anlaß zur Störungen gibt, die zu hohen Produktionsverlusten führen können.
Aufbauend auf einer umfassenden Störungsanalyse werden die Möglichkeiten zur Prozeßsicherung eines Ammoniak-Harnstoff-Produktionsstranges aufgezeigt und die gesammelten Erfahrungen

verallgemeinert. Die Verhinderung von ungefährlichen und gefährlichen Fehlern, die in den Signalkanälen eines automatischen Notabstellsystems (Tripsystems) auftreten, ist durch den Einsatz von Prozeßrechnern möglich.
Mit Hilfe einer operativ-therapeutischen Methode wird die Praxiswirksamkeit bei der Kompensation nicht ausregelbarer Störgrößen objektiver und subjektiver Herkunft nachgewiesen. Die Überprüfungszeit von 2 s, die dem Prozeßrechnersystem zur Verfügung steht, ist zur Beherrschung von ungefährlichen und gefährlichen Fehlern, die in den Signalkanälen eines Tripsystems auftreten, als ausreichend anzusehen. Der ökonomische Effekt ist ausgewiesen.
Die Belange der Softwareentwicklung werden unter dem besonderen Aspekt der Prozeßsicherung bezüglich Korrektheit, Robustheit, Zuverlässigkeit und Rechtzeitigkeit diskutiert.
Abgeleitet aus den Ergebnissen der komplexen Störungsanalyse und den gegebenen Randbedingungen werden Schlußfolgerungen für den Entwurf und den Betrieb eines rechnergestützten Prozeßsicherungssystems für Teilsysteme und den gesamten Produktionsstrang gezogen. Obwohl das zugrunde gelegte Objekt als Unikat anzusehen ist, kann es jedoch aufgrund seiner Komplexität als repräsentativ für eine große Anzahl chemisch-technologischer Produktionsstränge angesehen werden. Zur Lösung der gestellten Steuerungsaufgaben wurde ein Zweiebenenhierarchiesystem gewählt.

msr 8069 Dr.-Ing. *K.-E. Pfeiffer*, VEB Agrochemie Piesteritz, 4602 Wittenberg-Piesteritz, Straße der Neuerer 127.

Der Entwurf eines ASUTP der erdgasverarbeitenden Anlagen im VEB Stickstoffwerk Piesteritz



Horst Bendel wurde am 26. Dezember 1940 in Tetschen geboren. Nach dem Studium an der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg Dipl.-Ing. für Verfahrenstechnik im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" auf dem Gebiet der mathematischen Modellierung petrolchemischer Prozesse zum Zwecke der optimierenden Steuerung. 1968 Abschluß eines einjährigen postgradualen Studiums an der Fachrichtung „Automatisierung" der TH „Carl Schorlemmer" Leuna-Merseburg. Seit 1972 Tätigkeit im VEB Stickstoffwerk Piesteritz. Zunächst innerhalb des ORZ Bearbeitung verfahrenstechnischer Probleme im Zusammenhang mit den Prozeßrechnereinsätzen in den Ammoniakanlagen, seit 1981 Abschnittsleiter für Prozeßmodellierung und -optimierung im Direktorat Technik.
Dissertation A an der Fakultät Technik und Naturwissenschaften des Wissenschaftlichen Rates der Technischen Hochschule Leipzig. Leipzig, 26. Mai 1983.

Doktorand: Dipl.-Ing. *H. Bendel*
Vorsitzender der Prüfungskommission:
Prof. Dr. sc. techn. *W. Richter*
Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. *D. Balzer*
Prof. Dr. sc. techn. *J. Kardos*
Doz. Dr. rer. nat. *W. Schwarz*

Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der TH Leipzig entliehen werden.

Die intensivere Nutzung hochproduktiver Chemieanlagen erfordert den zunehmenden Einsatz von automatisierten Systemen zur Steuerung technologischer Prozesse (ASUTP).
Für die in diesem Zusammenhang oftmals notwendige Lösung umfangreicher Steuerungsaufgaben ist die Anwendung hierarchischer Steuerungsstrukturen vorteilhaft. Durch Dekomposition der globalen Steuerungsaufgabe wird eine genauere Formulierung der Einzelaufgaben und damit oft erst die rechnergestützte Lösung des Gesamtproblems möglich.
Die globale Aufgabenstellung für die Steuerung des Systems der erdgasverarbeitenden Anlagen in Piesteritz besteht in der maximalen Produktion von Ammoniak und Harnstoff sowie in der Stabilisierung der Versandbetriebe für diese beiden Produkte. Davon ausgehend werden die autonomen Steuerungsaufgaben formuliert und die Eigenschaften der einzelnen Steuerungsobjekte durch mathematische Modelle beschrieben.
Unter Berücksichtigung der vorhandenen Prozeßrechentechnik und der bereits existierenden rechnergestützten Prozeßstabilisierung wurde beim Entwurf des ASUTP der Schwerpunkt auf die Erstellung der Algorithmen für die Prozeßsicherung und Prozeßoptimierung gelegt. Es werden ein prozeßsicherndes Systemkonzept und eine spezielle Prozeßsicherungsmaßnahme für die explosionsgefährdeten Restgaswäscher entworfen.
Zur Prozeßoptimierung erstellte Rechenprogramme dienen der Lösung folgender Optimierungsprobleme:

- Minimierung des CO-Restgehaltes in der zweistufigen CO-Konvertierung
- Minimierung der Selbstkosten bei der Dampferzeugung
- Bestimmung der Kompromißmenge bei der Polyoptimierung der Harnstofferzeugung.

Die Optimierungsaufgabe für das Gesamtsystem der erdgasverarbeitenden Anlagen wird durch ein anwenderfreundliches Mehrebenenverfahren gelöst. Alle Algorithmen zur Prozeßsteuerung werden in einem hierarchisch geordneten Gesamtalgorithmus erfaßt. Wichtige Aspekte der Mensch-Maschine-Kommunikation und der Softwarezuverlässigkeit werden aus der Sicht der Betriebspraxis dargelegt.
Die entworfenen Algorithmen sind weitestgehend als Rechenprogramme realisiert und werden auf den Prozeßrechnern bzw. auf einem EC 1040 im VEB Agrochemie Piesteritz genutzt.
Die Anwendung der Algorithmen zur Prozeßsteuerung erhöht die „Intelligenz" der vorhandenen Automatisierungsmittel und führt zur Steigerung der Effektivität und Qualität der Anlagenfahrweise. Die Steuerungsalgorithmen dienen damit der intensiveren Nutzung der existierenden Grundmittel (Chemieanlage einschließlich Automatisierungstechnik).

msr 8068 Dr.-Ing. *H. Bendel*, VEB Agrochemie Piesteritz, 4602 Wittenberg-Piesteritz, Straße der Neuerer 127.



Leipziger Frühjahrsmesse 1984

Die LFM '84, die vom 11. bis 18. März 1984 auf dem traditionsreichen Leipziger Messegelände stattfand, zeigte sich für das Fachgebiet in einer zumindest teilweise neuen Gliederung.
Neben der betriebs- und kombinatsbezogenen Ausstellungskonzeption wurde in der Halle 15 auf dem technischen Messegelände unter dem Motto „Angewandte Mikroelektronik" eine Zusammenfassung des Angebotes von komplexen Problemlösungen für die Industrie, das Gesundheitswesen, die Verwaltung und die Landwirtschaft gezeigt. Damit wurde der Tatsache Rechnung getragen, daß das Tempo des technischen Fortschritts international maßgeblich durch die Anwendung der Mikroelektronik bestimmt wird. Durch die Angebote von Software-Leistungen, z. B. auch durch die Akademie der Wissenschaften der DDR, wurde diese Ausstellung ergänzt. Die LFM '84 bestätigte erneut, daß in Leipzig ein vollständiges Angebot der DDR-Industrie auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik zu sehen ist, im wesentlichen getragen durch die Kombinate Elektroapparatewerke (KEAW) und Automatisierungsanlagenbau (KAAB), daß sich aber das Angebot ausländischer Aussteller an den Absatzmöglichkeiten in der DDR orientierte und nur Ausschnitte oder eingeführte Geräte und Systeme zeigte.
Damit wird auch ein Trend zu Spezialausstellungen und -messen sichtbar (z. B. INTERKAMA, s. msr, Berlin 27 (1984) 5, S. 227–228). Erfahrungen zeigen auch, daß viele Firmen ihre Neuentwicklungen für die INTERKAMA reservieren und damit im Jahr nach der INTERKAMA wenig Innovationen zur Automatisierungstechnik auf den Messen angeboten werden.
In diesem Messebericht wird im wesentlichen auf Automatisierungsgeräte eingegangen, da in der Messevorschau die Exponate des DDR-Automatisierungsanlagenbaus bereits vorgestellt wurden (s. msr, Berlin 27 (1984) 3, S. 131–132). Darüber hinaus werden Entwicklungstrends dargestellt, die sich aus einer Querschnittsbetrachtung der Exponate ableiten lassen.
Bei den Automatisierungsgeräten war der bereits früher erkennbare Weg der weitgehenden Nutzung der Mikroelektronik für die Informationsverarbeitung und Nutzung elektromechanischer Werkprinzipien dort, wo es aus funktionellen und ökonomischen Gründen günstiger ist, sichtbar. Eine Mikroprozessor-Regeleinrichtung ursamar 5001 (Bild 1) für die Kraftwerksautomatisierung wurde vom **KEAW** gezeigt, deren Herzstück der Mikroprozessor-Reglerbaustein RBS 05 ist, der einen PI-Kanal mit umfangreichen analogen und binären Zusatzfunktionen realisiert. Der Regler verfügt über eine leistungsfähige Softwarestruktur mit einer universellen Analogsignalverarbeitung und einer dem Anwendungsfall speziell angepaßten Binär- und Störsignalverarbeitung. Die parametrierund strukturierbare Firmware einschließlich der Anwenderprogramme sind EPROM-resident.
Durch automatische Driftkorrektur der A/D-Umsetzung wird für die Analogeingabe und -ausgabe eine Genauigkeit von 0,4% erreicht. Bei Ausfall der Versorgungsspannung bleiben Struktur, Parameter und Sollwert in einem batteriegestützten RAM erhalten (5 Jahre wartungsfrei). Der Regler ist über eine langsame serielle Schnittstelle (20 mA Stromschleife, 9,6 K baud) an eine zentrale Bildschirmleittechnik ankoppelbar. Damit sind Betriebszustände, Prozeßdaten und Reglerparameter per Bildschirm abrufbar sowie die Führung des Regelkreises möglich.
Weitere wesentliche Vorteile des Mikroprozessorreglers gegenüber konventionellen sind:

- leistungsfähigere und besser angepaßte Analog- und Binärsignalverarbeitung
- Volumenreduzierung auf ein Drittel.

Der Reglerbaustein arbeitet mit peripheren Bausteinen des Systems ursamar 4000 zusammen und wird durch eine ansteckbare Bedien- und Anzeigeeinheit RBL 05 komplettiert.

Wichtige technische Daten:

Eingänge:
6 analoge (4 ... 20 mA)
(0 ... 20 mA)
(0 ... 10 V)
12 binäre (ursalog 4000-Pegel 24 V)

Ausgänge:
1 analoger für Stellgröße (4 ... 20 mA und 0 ... 10 V)
3 analoge (4 ... 20 mA)
6 binäre (ursalog 4000-Pegel 24 V)
Versorgungsspannung 24 V +30% −25%
Leistungsaufnahme 35 W
Reglertastzeit 1/3 s
Abmessungen 180 mm × 100 mm × × 170 mm.

Weiterhin wurde in der Innovationsausstellung „Angewandte Mikroelektronik" eine freiprogrammierbare Variante eines **Mikroprozessorreglers für universelle Anwendung ursamar 5002** vorgestellt, bestehend aus dem Reglerbaustein RBS 06 und der Bedien- und Anzeigeeinheit RBL 05. Bei gleichen Abmessungen und Versorgungsbedingungen wie beim RBS 05 stehen folgende Ein/Ausgänge zur Verfügung:

8 Analogeingänge
12 Binäreingänge
4 Analogausgänge
6 Binärausgänge.

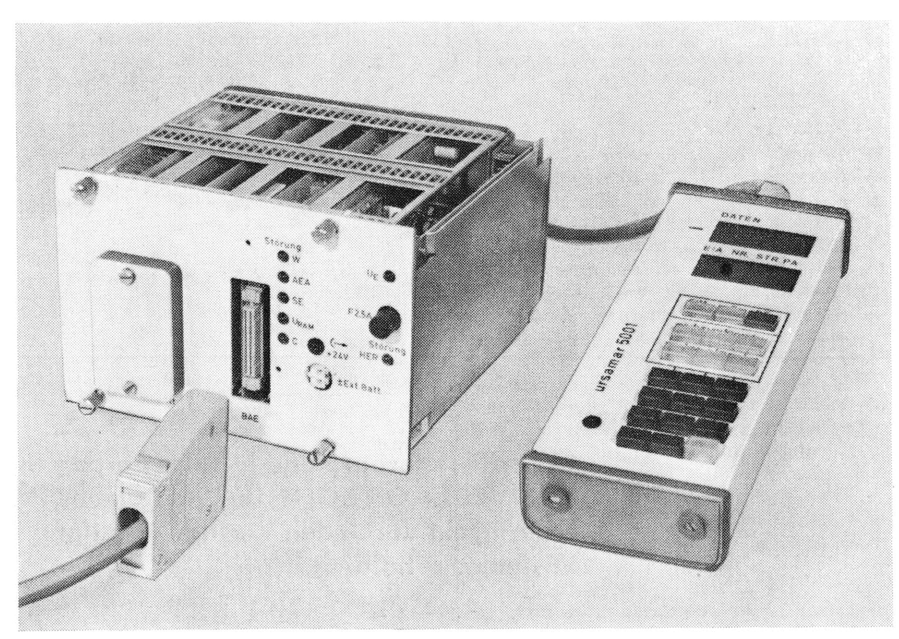
Der geringe Platz- und Leistungsbedarf gestattet darüber hinaus den Einsatz als Rechenfunktionseinheit in informationsverarbeitenden Geräten (z. B. als Durchflußkorrekturrechner).
Mit dem **PROCESS CONTROLLER ursamar 5010** (PC 5010) in Verbindung mit einem Programmiergerät A 5120 steht eine moderne Gerätekombination zur Verfügung, die für Automatisierungsaufgaben aus den Bereichen:

- Regelungstechnik
- Primärdatenaufbereitung
- Steuerungstechnik

gleichermaßen leistungsfähig ist. Die Systemphilosophie geht davon aus, Aufgabenstellungen

- mit hohem Verknüpfungsgrad und großer Verarbeitungstiefe

Bild 1. Mikroprozessorregler ursamar 5001, vorwiegend für den Einsatz in der Kraftwerksautomatisierung



- für die Klein- und Mittelautomatisierung
- bei geringen Aufwendungen und in kürzestmöglicher Zeit durch ein Maximum an Softwareunterstützung

zu lösen. Wesentliche Merkmale sind

- freie Programmierbarkeit des PROCESS CONTROLLER ursamar 5010 durch Off-line-Kopplung mit dem Programmiergerät A 5120 (PG A 5120)
- anwendungsorientierte Sprache PROMAR 5000
- über 60 verfügbare Softwaremodule für die verschiedenartigsten Regelungs-, Rechen- und Steuerungsfunktionen
- durchgängige Anwendung von Gleitkommaarithmetikpaketen mit Rechengenauigkeiten von $\geqq$ 0,0001
- leistungsfähige 8-bit-Mikroprozessortechnik in Mehrprozessorkonfiguration
- konsequente Nutzung von kostengünstigen und störsicheren Stromschleifeninterfaces für die serielle Datenübertragung
- analoge und binäre Prozeßinterfaces
- leistungsfähiges Autodiagnosekonzept durch kombinierte Nutzung ausgewählter Hardware- und Softwarekomponenten
- Back-up-Möglichkeit durch Funktionsumschaltung auf einen Stand-by-Controller im Fehler- bzw. Servicefall
- Datensicherung durch Anwendung batteriegepufferter und schreibgeschützter CMOS-RAM.

Der PC 5010 ist ein Kompaktgerät mit den Hauptkomponenten (Bild 2)

- **Display Processor** mit den aus Folientastatur und alphanumerischer Anzeige bestehenden Kommunikationseinheiten und seriellem Koppelinterface zum PG A 5120, zum Stand-by-Controller und zum Controller Processor
- **Controller Processor** mit Prozeßinterface für
  16 analoge Eingangssignale
  8 analoge Ausgangssignale
  16 binäre Eingangssignale
  16 binäre Ausgangssignale
- Speicherbaugruppen mit 10 Kbyte EPROM und 9 Kbyte RAM
- Watch-dog-Schaltungen zur Überwachung und Fehlersignalisierung
- Stromversorgung und Anschlußmodule.

Die Anwender-Programmentwicklung für den PC 5010 erfolgt off-line auf dem PG A 5120 und hat die Generierung einer Softwaremodul-Verbindungsliste zum Ziel, die nach erfolgreichem Test im EPROM des PC 5010 abgelegt wird. Diese Verbindungsliste bestimmt die Art und zeitliche Reihenfolge der abzuarbeitenden Softwaremodule und definiert den Zugriff zu Prozeßgrößen, Parametern, Strukturdaten sowie die Ablage von Ergebnissen. Die Generierung wird durch umfangreiche PROMAR-5000-Software unterstützt.

Speziell für den Schiffseinsatz wurde die **speicherprogrammierbare Steuerungseinrichtung ursalog 5011** entwickelt. Sie kann darüber hinaus aber auch für vielfältige Steuerungs- und Überwachungsaufgaben in der Industrie eingesetzt werden. In Maximalkonfiguration enthält sie 4 Verarbeitungseinheiten VE 1 mit zugeordneten Eingangs- und Ausgangsbaugruppen des Bausteinsystems ursalog 4000. Je VE 1 stehen 32 Eingänge und 16 Ausgänge zur Verfügung. Die Eingangssignale werden in einem Zyklus von 10 ms abgefragt. Die Programmierung erfolgt anhand eines Logikplans in der Sprache PROLOG 1 mit Hilfe eines ursatron-Programmiergerätes. Für das Anwenderprogramm steht ein Speicherplatz von 2 Kbyte zur Verfügung. Die VE 1 ist mit Schaltungen zur Eigenüberwachung und Fehlersignalisierung ausgerüstet.

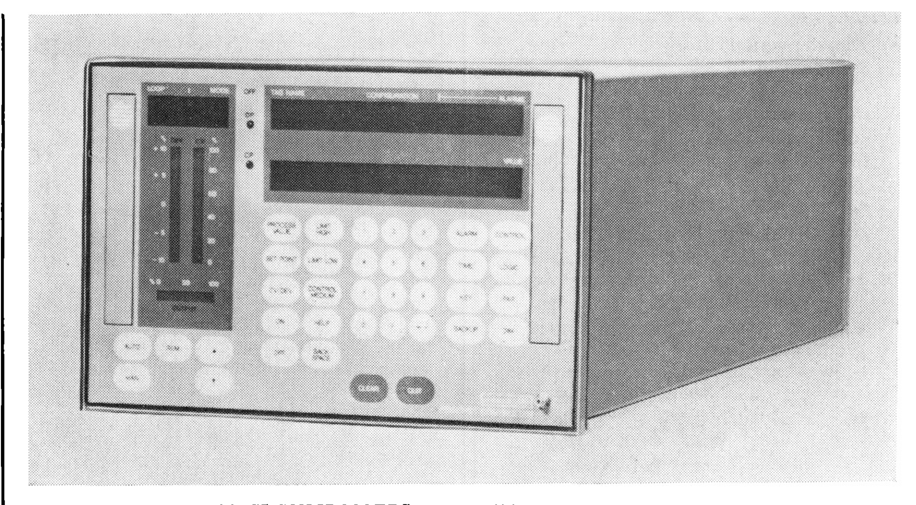


Bild 2. Ansicht des PROCESS-CONTROLLERS ursamar 5010

Weitere Exponate zur **Steuerungstechnik**, insbesondere zur Maschinensteuerung, wurden vom **VEB Numerik „Karl Marx“** auf mikroelektronischer Basis gezeigt, z. B. CNC-Z 6004, CNC 6461. Die Industrierobotersteuerung IRS 650 und die speicherprogrammierbare Steuerung PC 601, eine Variante des bekannten Typs PC 600, ergänzten das Programm (s. hierzu msr, Berlin 27 (1984) 3, S. 131—132).

Sein bewährtes Programm elektromechanischer Zähler erweitert der **VEB Maßindustrie Werdau** um eine **Typenreihe elektronischer Zähler**, die mit störsicheren, hochintegrierten NMOS/CMOS-Schaltkreisen aufgebaut und in robuster Schraubklemmen-Anschlußtechnik ausgeführt sind. Besondere Merkmale:

- 4stellige 7-Segment-LED-Lichtschachtanzeige VQE 23
- zwei unabhängig einstellbare Vorwahlspeicher, Elektronik- und Relaisausgänge
- Summenbildung, Differenzbildung
- Datensicherung bei Netzausfall
- Vorwärts-/Rückwärtszählung bis 50 kHz in vier Zählfrequenzbereichen.

Wichtige technische Daten:

- Stromversorgung 220 V $^{+10\%}_{-15\%}$, 50/60 Hz
- Leistungsaufnahme etwa 5 VA
- Signalein- und -ausgänge TTL-kompatibel
- Schutzgrad IP 40 (mit Schutzklappe IP 54)
- Einsatzklasse —10/+50/30/80//1102 nach TGL 9200
- Abmessungen 72 mm × 72 mm × × 144 mm.

Die elektronischen Zähler können durch die mögliche Anwenderprogrammierung die verschiedensten Aufgaben bei der Positionierung, bei inkrementaler Längen- oder Winkelmessung, bei zentraler Zähldatenerfassung, beim Spulenwickeln, Ablängen, Abfüllen, Dosieren u. v. a. lösen.

Ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben und ohne Bekanntes zu wiederholen, sollen zur **Prozeßmeßtechnik** einige Beispiele genannt werden:

Aus dem **VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow** stammen die neuentwickelten **Absolutdruckwandler** und die **Halbleiter-Druck- und -Differenzmeßumformer**. Diese Geräte arbeiten nach dem integrierten piezoresistiven Wirkprinzip und haben als funktionsentscheidendes Element einen Halbleitersensor. Damit liegen moderne Netzumformer für verfahrenstechnische Größen vor.

Seit vielen Jahren produziert der **VEB Junkalor Dessau** (Betrieb des KEAW) die bewährten Festelektrolyt-Meßgeräte Gapolyt und ursalyt RG. Aufbauend auf diesen Erfahrungen bringt der Betrieb nunmehr ein **komplettes Festelektrolyt-Meßgerätesystem** auf den Markt, das zunächst aus 4 Geräten besteht:

- ursalyt G 10 zur Messung von Sauerstoff in Inertgasen, Wasserdampf in Wasserstoff sowie Kohlenmonoxid und Wasserstoff in Wassergas
- ursalyt G 20 zur gleichzeitigen Messung von Wasserstoff, Wasserdampf, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid in Inertgasen (sog. komplexe Inertgasanalyse)
- ursalyt G 30 zur Leckdetektion in Natriumkreisläufen von Kernreaktoren sowie zur Herstellung von Sauerstoffprüfgasen
- ursalyt G 40 zur Messung des Sauerstoffgehaltes von Rauch- und Abgasen.

Die Geräte bestehen jeweils aus den Komponenten Meßwertgeber (bzw. Rauchgasmeßsonde) und Steuergerät, die durch ein am Steuergerät angeschlossenes Kabel mit Spezialstecker miteinander verbunden werden.

Das Wirkprinzip ist die Sauerstoffmessung bzw. -dosierung mittels sauerstoffionenleitendem Festelektrolyt. Die Meßzelle wird zur Messung auf 813 °C aufgeheizt.

Die vielseitigen Einsatzgebiete reichen von der chemischen Industrie, Halbleiterindustrie, Kraftwerken bis zu Anwendungen in Biologie und Medizin. Das Rauchgasmeßgerät ursalyt G 40 gestattet es, Verbrennungsprozesse zu optimieren und damit Brennstoffe einzusparen und die Schadstoffemission drastisch zu reduzieren.

Wichtige technische Daten ursalyt G 40

a) Rauchgasmeßsonde
- Schutzgrad IP 54
- max. zul. Meßgastemperatur 760 °C
- zul. Unterdruck im Meßgas 50 ... 3000 Pa

b) Steuerteil
- Schutzgrad IP 54
- Hilfsenergie 220 V $^{+10}_{-15}\,\%$; 50 Hz, 235 VA
- Ausgangssignal 0 ... 20 mA (0 ... 5; 4 ... 20 mA), Ra ≦ 500 Ω

c) Gesamtgerät
- Meßbereiche 1 ... 10 Vol.-% O_2; 0,1 ... 1 Vol.-% O_2
- Meßfehler ≦ ±2,5% bei O_2-Konz. ≧ 5 Vol.-%; ≦ ±5% bei O_2-Konz. < 5 Vol.-%
- Totzeit ≦ 1 s
- 95%-Zeit ≦ 30 s.

Bei Automatisierungsanlagen wurden Anwendungsmöglichkeiten des bekannten, multivalent einsetzbaren **Automatisierungssystems „audatec“** demonstriert. „audatec“ ist ein universelles, mikrorechnergeführtes Automatisierungssystem auf der Grundlage von ursatron 5000, das vielfältigste Einsatzmöglichkeiten durch eine optimale Auf- und Abrüstbarkeit der Automatisierungsanlagen gewährleistet (s. auch msr, Berlin 37 (1984) 3, S. 131–132).

Mikrorechnergesteuerte Automatisierungssysteme, die es gestatten, hierarchisch strukturierte Anlagen aufzubauen, wurden auch von ausländischen Firmen angeboten, u. a. das System **TELEPERM M (Siemens)** und **Contronic P (Hartmann & Braun AG)** (s. hierzu auch INTERKAMA-Bericht, msr, Berlin 27 (1984) 5, S. 227–228).

Erfreulicherweise brachte die LFM ’84 auch Bewegung in die DDR-Kleinstrechner-Szenerie. Neben zwei Heimcomputervarianten (VEB Kombinat Robotron bzw. VEB Röhrenwerk Mühlhausen) offerierte der **VEB Mikroelektronik „Karl Marx“ Erfurt** im VEB Kombinat Mikroelektronik den von ihm entwickelten und gefertigten **Lerncomputer LC 80**. In einem Pressegespräch im Betrieb am 30. März 1984 wurden dazu weitere Informationen vermittelt. Das Gerät, das noch in diesem Jahr beim Hersteller käuflich zu erwerben sein wird (Produktion ab September 1984), ist auf der Basis des Mikroprozessorbausteins U880 D konzipiert. Es ist in einer handlichen Klappmappe untergebracht, in der sich auch die Betriebsanleitung befindet, und vermittelt durch seinen offenliegenden Aufbau und seine Konzeption Einblicke in die funktionellen Abläufe. Gegenüber der auf der Messe ausgestellten Variante (Bild 3) sind für die handelswirksamen Geräte einige Veränderungen vorgenommen worden. So ist die Leiterkarte hochformatig ausgeführt, die Tastatur wurde verändert, durch Zusatz-EPROMs wurde der Speicherbereich erweitert, und zur Prozeßkopplung wurde der BUS nach außen auf einen Steckverbinder geführt. Damit wurde der LC 80 auch internationalen Trends angepaßt.

Das Monitorprogramm des Lerncomputers umfaßt etwa 1,5 Kbyte. Es ist in zwei Festwertspeicher zu je 1 Kbyte (U505D) und in einen EPROM U2716C eingeschrieben. Als Arbeitsspeicher steht 1 Kbyte RAM (zwei U214D) zur Verfügung.

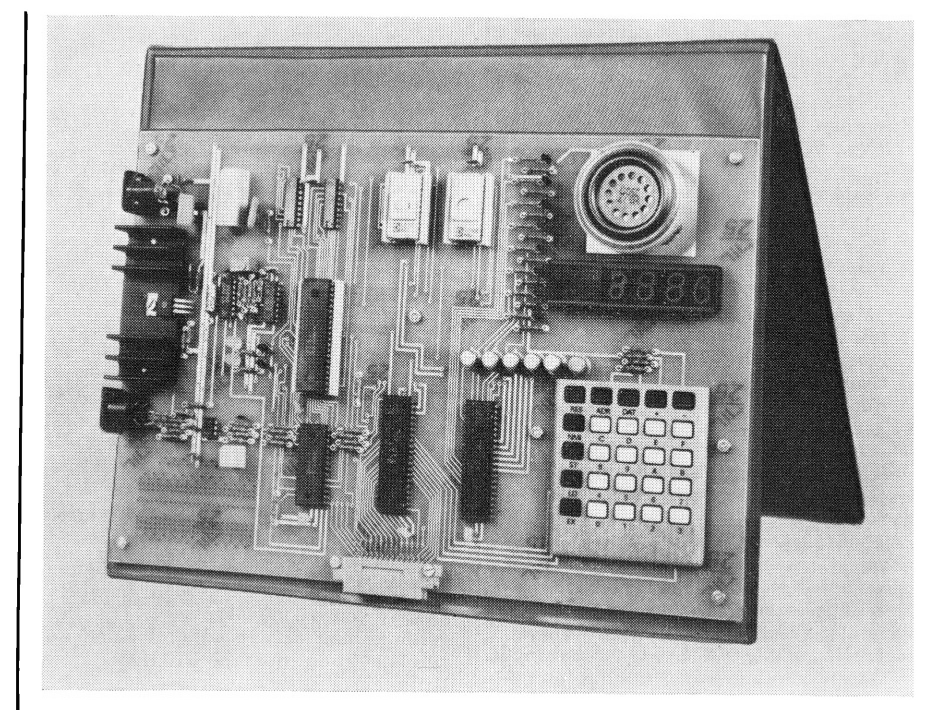


Bild 3. Lerncomputer LC 80, wie er auf der LFM 1984 vorgestellt wurde

Über zwei PIO U855D erfolgt die Ansteuerung der Tastatur, des Kassetteninterfaces und der Anzeige. 12 I/O-Leitungen sind zum Steckverbinder geführt und stehen dem Anwender genauso zur freien Verfügung wie der Interfacebaustein CTC U857D.

Die Informationseingabe erfolgt über eine Tastatur (16 HEX-Tasten, 7 Funktionstasten, 1 Interrupttaste und 1 Resettaste). Die Darstellung der Informationen wird durch eine 6stellige Anzeige realisiert. Weiterhin ist eine akustische Ausgabemöglichkeit vorgesehen.

Die externe Abspeicherung von Programmen wird durch ein auf der Leiterkarte befindliches Kassetteninterface ermöglicht. Über ein standardisiertes Diodenkabel können Programme auf beliebige Tonband- bzw. Kassettengeräte abgespeichert und wieder eingelesen werden.

Zum Betreiben des Mikrorechners ist eine Gleichspannung von 9 bis 12 V (etwa 500 mA) erforderlich.

Der Lerncomputer dient in erster Linie dem gründlichen Kennenlernen der Bausteine und der Programmierung des Mikroprozessorsystems U 880. Das Gerät ist für Schüler, Studenten, BMSR-Techniker, Elektronikfacharbeiter und andere Interessenten geeignet, die sich in die Mikroprozessortechnik einarbeiten möchten.

Es ermöglicht:

- Eingabe von Programmen in Maschinensprache
- Programmierung von Peripheriebausteinen
- Abspeicherung von Programmen auf externem Datenträger (Kassette, Magnetband)
- Einsatz des Mikroprozessorsystems für einfache Steuerungen, Regelungen oder Spiele
- Einsatz des LC 80 für einfachste akustische bzw. musikalische Spiele
- Hardwareerweiterungen auf vorhandenem Lochrasterfeld

z. B. A/D-Schnittstelle:
. Multimeter
. Temperaturanzeige

D/A-Schnittstelle:
. Grafikdarstellung

Technische Daten

CPU:	U880D (Z 80)
Systemtakt:	Frequenz 900 kHz
ROM:	2 × ROM 505D (2 × 2 Kbyte); bzw. 2 × EPROM U2716C (1 × 2 Kbyte, 1 Steckplatz frei)
RAM:	2 × U214D (1 Kbyte)
Paralleles Interface:	2 × PIO U855D (32 I/0-Leitungen; 12 I/0-Leitungen zur freien Verwendung)
Zähler/Zeitgeber	1 × CTC U857D (4 Zähler/Zeitgeber); frei für Nutzer
Tastatur:	25 Eingabetasten (16 Daten, 7 Funktionen, 1 Rücksetz- und 1 Interrupttaste)
Anzeige:	6 grünleuchtende 7-Segment-LED-Anzeigen
Stromversorgung:	9 ... 12 V Gleichspannung; etwa 500 mA
Arbeitstemperatur:	0 °C bis 50 °C
Abmessungen:	200 mm × 300 mm

Man darf diesem didaktischen Hilfsmittel zur Förderung des Verständnisses für die moderne Rechentechnik eine weite Verbreitung wünschen. Es ist schön, daß der im Hinblick auf den angesprochenen Interessentenkreis zu erwartende Verbraucherendpreis den Kauf des Gerätes auch den Personen ermöglichen wird, die sich noch in der Ausbildung befinden.

Einige, wenn auch unvollständige Einschätzungen von Entwicklungstrends lassen sich von der diesjährigen LFM zur Automatisierungstechnik ableiten:

- Die Automatisierung diskontinuierlicher Fertigungsprozesse im Maschinenbau und der Elektrotechnik bestimmen zunehmend die Zuwachsraten auf dem Markt

(Fortsetzung auf Seite 329 unten)

Selbstorganisation von Vorhersagemodellen. Von *A. G. Ivachnenko* und *J.-A. Müller*. Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 271 Seiten, 72 Bilder, 44 Tafeln, 36,— Mark.
Bestell-Nr. 5533521

Das Anliegen dieses Buches ist die „Methode der Selbstorganisation" mathematischer Modelle mit Hilfe der Rechentechnik. Diese Methode wurde von Prof. *Ivachnenko* Anfang der siebziger Jahre entwickelt und in einer Reihe von Problemen erfolgreich angewendet. Inhaltlich stellt sie eine Objektivierung des Modellbildungsprozesses, ausgehend von vorhandenen Eingangs- und Ausgangsgrößen und A-priori-Information, dar. Durch die Notwendigkeit der Wahl von Selektionskriterien, Regularisierungsverfahren u. a. kann der Einfluß des Menschen auf die Modellbildung jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Rechentechnisch wird ein Modell mit optimaler Kompliziertheit (Struktur) erstellt, das die Auswahlkriterien minimiert.
Die „Methode der Selbstorganisation" mathematischer Modelle ist eine wertvolle Ergänzung der bekannten Methoden der Modellbildung, die allerdings nicht ohne die Anwendung eines größeren Rechners auskommt. Die Hauptanwendungsbereiche sind insbesondere komplizierte Systeme und Systeme, über die ungenügend A-priori-Information und wenig Daten vorliegen, d. h. Systeme, bei denen die Anwendung mathematisch-statistischer Verfahren zumindest sehr erschwert ist. Die Autoren konzentrieren sich im Buch auf die Erstellung von Vorhersagemodellen. Aus diesem Grund beinhaltet der 1. Abschnitt allgemeine Ausführungen zu mathematischen Vorhersageverfahren, die jedem auf dem Gebiet der Prognose Tätigen zu empfehlen sind. Im 2. Abschnitt wird ausführlich auf die Grundprinzipien der „Selbstorganisation" eingegangen. Diese Grundprinzipien werden im 3. Abschnitt für die kurzfristige und im 4. Abschnitt für die mittel- und langfristige Vorhersage angewendet. Auf die rechentechnische Realisierung wird kurz im abschließenden Abschnitt eingegangen, wobei speziell für den Nutzer das in der Einleitung enthaltene Angebot der entsprechenden PL/1-Programme interessant sein wird. Besonders hervorzuheben ist die große Anzahl von Beispielen aus verschiedenen praktischen Bereichen, z. B. Technik, Landwirtschaft, Ökonomie, Ökologie, die sehr gut die anstehenden Probleme illustrieren.
Insgesamt ist das Buch eine wertvolle Ergänzung zur Erstellung mathematischer Signal- und Systemmodelle für Systeme und Signale, von denen wenig Informationen (Struktur und Daten) vorhanden sind. Die Autoren stellen die „Methode der Selbstorganisation", die als eine rechnergestützte Entwicklung von Modellen auf der Grundlage von Selektionskriterien angesehen werden kann, überzeugend dar. Am Beispiel der Anwendung dieser Modelle zur Vorhersage werden viele praktische Probleme mit Erfolg gelöst. Das Buch ist für einen breiten Leserkreis von Interesse, da die aufgegriffenen Probleme in technischen und nichttechnischen Systemen auftreten und gelöst werden müssen.

B 1908 *J. Wernstedt*

Sensorelektronik. Primärelektronik von Meßwertaufnehmern (Reihe Meßtechnik. Herausg.: *H. Trumpold* und *E.-G. Woschni*). Von *V. S. Gutnikov*, *A. Lenk* und *V. Mende*. Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 260 Seiten, 202 Bilder, 2 Tafeln, 36,— Mark.
Bestell-Nr. 5532019

Sensoren als Bindeglieder zwischen einer nichtelektrischen Umwelt und elektronischen Verarbeitungseinheiten beruhen zwar oft auf weitgehend bekannten Wirkprinzipien, sind aber erst durch die enormen Fortschritte der Halbleitertechnologie zur nahezu schon selbstverständlichen Realität geworden. Ihr Einsatz hat aber auch Auswirkungen auf die Zusammenschaltung von Sensor und Folgeelektronik, weil sowohl die physikalisch-technischen Grenzen des Sensors und seiner Parameter als auch die Kenngrößen und -funktionen der Folgeelektronik beachtet werden müssen, wenn ein optimales Gesamtkonzept für eine Meßkette entstehen soll. Kernstück der Folgeelektronik ist ein fundamentaler Baustein der Elektronik von heute: der Operationsverstärker. Seine Eigenschaften und Kennwerte bestimmen eindeutig und nahezu ausschließlich die gesamte analoge Meßwertverarbeitung bis hin zur Analog-Digital-Wandlung, so daß ein Buch über moderne Mittel der Elektronik in der Meßtechnik sich zwangsläufig dem Operationsverstärker, seinen Eigenschaften und Anwendungsaspekten widmen muß.
Diese, von der Sache her gebotenen Zwänge haben die Autoren hervorragend eingebettet in das Umfeld einer Meßkette: in die Kopplungsbedingungen zwischen Sensor und Folgeelektronik, die systemtheoretisch begründeten Fehler- und Übertragungsrelationen von Funktionseinheiten in Meßketten und in die Nutzung dieser Relationen und Bedingungen bei Einsatz in meßtechnischen Strukturen, speziell in solchen mit resistiven, thermoelektrischen, piezoelektrischen, kapazitiven und auch induktiven Sensoren.
Am Buch fällt auf, daß die Autoren die Gesamtzielstellung „Nutzbarkeit für meßtechnische Anwendungsfälle" konsequent verfolgen und auch umfassend realisieren. Sie verzichten dabei auf denkbare Randgebiete, erzielen damit aber eine Geschlossenheit der Darstellung, die mit ihrer betont zurückhaltenden Sachlichkeit um so überzeugender wirkt. Mit dem Buch werden viele aus der Anwendung analoger elektronischer Mittel in der Meßtechnik resultierende Fragen erschöpfend behandelt, weil das Grundkonzept einer umfassenden Fehleranalyse und -korrektor nicht auf einzelne Glieder und Phänomene beschränkt bleibt, sondern stets auf die Zusammenschaltung von Wandlungsglied und Folgeelektronik erstreckt wird. Als vorzügliches Hilfsmittel erweist sich dabei die Theorie zeitveränderlicher linearer Systeme, mit der sich die Eigenschaften und die Kompensation von Störeinflüssen auf Gleichspannungsverstärker übersichtlich beschreiben lassen. Ziel ist immer die Minimierung aller Eigen- und Fremdstörungen im Amplituden- und Zeitbereich der zu messenden Größe.
Die meßtechnische Fachausbildung an Hochschulen und Universitäten wird sich des Buches schnell bedienen, nicht zuletzt wegen der oben bereits betonten Allgemeingültigkeit und Geschlossenheit der Darstellung, die den Benutzer natürlich auch fordern.
Das Buch wendet sich nicht nur an Entwickler und Konstrukteure von Meßeinrichtungen, sondern ist ganz besonders allen Anwendern zu empfehlen, die sich mit der Auswahl, dem sinnvollen Einsatz und der Bemessung von Sensoren und analogen Folgeschaltungen befassen müssen.

B 1885 *W. Richter*

(Fortsetzung von Seite 328)

- Die Kleinautomatisierung erfordert spezifische, kostengünstige Lösungen, die von vielen Ausstellern als Varianten angeboten werden, aber zunehmend eigenständige Realisierung erfahren
- Einchip-Mikrorechner erweisen sich als günstige Lösungsmöglichkeit für die Aggregatautomatisierung, z. B. die vollelektronische Waschmaschinensteuerung (mit dem U881 mit einem Speichervolumen von 2 K byte als Zentraleinheit) des KEAW
- Die Realisierung von Automatisierungsgeräten, die sowohl Steuerungs- als auch Regelungsfunktionen in einer gerätetechnischen Lösung beinhalten, bestimmen zunehmend das Niveau
- Die Informationsverarbeitung dringt ständig weiter in autonome Vorverarbeitung ein, z. B. mikroprozessorgesteuerte Meßumformer, Meßgrößenvorverarbeitung u. a.
- Der Handel mit immateriellen Leistungen, wie Lizenzen, Know-how und Consulting-Leistungen, ist zur Sicherung zukunftsorientierter Lösungen im Steigen begriffen.

Auch unter diesen Aspekten schloß die Leipziger Frühjahrsmesse 1984 am 18. März 1984 erfolgreich ihre Pforten.

msr 8085 *H. Fuchs; P. Bretschneider; D. Werner*

Kleines Lexikon der Industrierobotertechnik. Band 208 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Von *St. Hesse*. Berlin: VEB Verlag Technik 1984. 68 Seiten, 75 Bilder, 4Tafeln, 4,80 Mark.
Bestell-Nr. 553347 6

Um dem allgemeinen Informationsbedürfnis entgegenzukommen, wurde dieses kleine Lexikon geschaffen. Es erklärt häufig verwendete Begriffe des Fachgebiets in knapper Form. Durch zahlreiche Strichzeichnungen wird der Text ergänzt. Neben roboterspezifischen Termini, die erst mit dieser neuen Technik entstanden sind, wurden auch Begriffe aufgenommen, die aus der Rechentechnik bzw. der NC-Steuerungstechnik stammen, aber mittlerweile in verstärktem Maße in die Robotertechnik Eingang gefunden haben und für das Verständnis gleichermaßen wichtig sind.
Wie bei jeder in rascher Entwicklung befindlichen Technik sind auch hier die begrifflichen Grundlagen noch stark im Fluß; paßfähige Formulierungen zu finden, wird daher nicht in jedem Fall gelingen. Dies betrifft ebenso die Auswahl, mit welcher Wichtung Begriffe in ein Lexikon dieser Art Eingang finden.
Der Band ist vor allem für jene gedacht, die sich erstmalig mit der Industrierobotertechnik befassen, doch werden auch Techniker, Leitungskader und Facharbeiter, aber auch Ökonomen, die mit der Vorbereitung oder dem praktischen Einsatz von Industrierobotern in Berührung kommen, Nutzen aus diesem Bändchen ziehen können.
B 1910 *W. Fritzsch*

Zuverlässigkeit elektrischer Maschinen (Übers. a. d. Russ.). Von *N. P. Ermolin* und *I. P. Zerichin*. Berlin: VEB Verlag Technik. 227 Seiten, 27 Bilder, 43 Tafeln, 22,— Mark.
Bestell-Nr. 5528327

Das technische Niveau eines jeden Industriezweigs wird durch das Zuverlässigkeitsniveau der eingesetzten elektrischen Maschinen maßgeblich bestimmt. Die Erhöhung der Qualität, der Zuverlässigkeit und der Lebensdauer ist eines der aktuellsten Probleme des modernen Elektromaschinenbaus. Die Erhöhung der Zuverlässigkeit dient unmittelbar der Verbesserung der Materialökonomie und der besseren Sicherung der Bedarfsdeckung. Der steigenden Anzahl von Antrieben in den Industriebereichen steht zudem eine notwendige Verringerung der Aufwendungen für Wartung und Reparatur entgegen.
Elektrische Maschinen sind unter die langlebigen Erzeugnisse zu rechnen. Für die Zuverlässigkeitsprüfung ist ein hoher Zeitaufwand aufzubringen, wenn nicht neue Wege zur rationellen und statistisch gesicherten Zuverlässigkeitsprüfung gefunden werden.
Mit dem Buch werden erstmals die in der letzten Zeit veröffentlichten zahlreichen wissenschaftlichen Beiträge zusammengefaßt, um sie in systematischer Form den Fachleuten in der Konstruktion, der Entwicklung und der Technologie bereitzustellen und zugleich Lehrmaterial für die Technischen Hochschulen zu liefern. Nicht zuletzt werden die Mitarbeiter der Instandhaltungsabteilungen der Betriebe angesprochen, da erst eine verständnisvolle und enge Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Anwender die Zuverlässigkeitsergebnisse absichern kann.
Der Inhalt des Buches ist folgenden Schwerpunkten gewidmet:

- Darstellung der Zuverlässigkeitstheorie, wobei neben der Behandlung der Ausfallverteilungen auch die wichtigsten Untersuchungsmethoden bis zu Anpassungstests zur Bestätigung der Gültigkeit von Verteilungsarten erfaßt werden
- Spezielle Zuverlässigkeitsprobleme bei elektrischen Maschinen, die die Schwerpunkte bei der Zuverlässigkeitsbetrachtung von Wicklungsisolierungen und Lagern herausarbeiten und auf die Möglichkeiten der Beeinflussung der Zuverlässigkeit beim Entwurf eingehen
- Zuverlässigkeit von Asynchronmotoren mit wichtigen Hinweisen auf derzeitige Ausfallerscheinungen, speziell bei der Anwendung verschiedener sowjetischer Erzeugnisreihen und mit der Betonung auf die Verbesserung der allgemeinen Produktionskultur in den Anwenderbereichen. Hierbei wird der Zusammenhang zwischen der Belastung der Maschine und der zu erwartenden Lebensdauer speziell herausgearbeitet. Einige Ausführungen sind der Kostenoptimierung und der optimalen Lebensdauer einer elektrischen Maschine gewidmet. Die Methoden der Isolierstoffprüfung, wie Motorettentests, werden behandelt
- Zuverlässigkeit von Synchronmaschinen, von Gleichstrommaschinen und von Kleinmaschinen mit besonderer Betonung der jeweiligen Eigenheiten der Zuverlässigkeitsprobleme bei diesen Erzeugnisprinzipien.

Im Anhang des Buches sind die wichtigsten Zahlentafeln, Übersichten über Standards und Vorschriften der DDR und UdSSR sowie eine umfangreiche Bibliographie zur Vertiefung des Fachwissens enthalten.
Das Buch enthält eine große Anzahl von Anregungen zur Verbesserung der Zuverlässigkeitsarbeit, die es geraten erscheinen lassen, daß sich, über die mit der Zuverlässigkeitsarbeit direkt befaßten Spezialisten hinausgehend, ein großer Kreis von Fachleuten mit dem Inhalt vertraut machen sollte. B 1849 *H. Reiche*

Statistical Analysis. An Computer Oriented Approach (in Russ.). Von *A. A. Afifi* und *S. P. Azen*. Moskau: Mir 1982. 488 Seiten, 40 Bilder, 72 Tafeln.

Zu den Grundlagen der mathematischen Statistik und ihrer Anwendung sind in englischer Sprache eine große Anzahl von Publikationen erschienen, wobei die wichtigsten auch in sowjetischer Ausgabe vorliegen. Wenn nunmehr auch dieses Lehrbuch in die russische Sprache übersetzt wurde, so liegt das an einer Reihe von Vorzügen.
Zu nennen sind die Anlage des Buches als Nachschlagewerk und Leitfaden, wobei nur geringe Grundlagenkenntnisse zur Wahrscheinlichkeitstheorie und mathematischen Statistik vorausgesetzt werden. Der Anhang enthält Grundbegriffe der mathematischen Statistik.
Die Darlegungen sind klar und verständlich, zweifellos erleichtert die große Anzahl von Beispielen das Verständnis erheblich. Diese Beispiele wurden der Biomedizin entnommen, was jedoch nicht eine vorrangige Orientierung auf den medizinischen, biologisch und soziologisch ausgerichteten Leserkreis bedeutet. Im Unterschied zu anderen Veröffentlichungen zur angewandten mathematischen Statistik orientiert diese Arbeit mit aller Konsequenz auf die Nutzung der EDV-Anlagen und der vorhandenen Programmpakete zur Statistik. Dadurch ersparen sich die Autoren eine langwierige Beschreibung rechentechnischer Prozeduren. Der Leser, der mit der Anwendung der EDV nicht vertraut ist, wird im 1. Kapitel in die Grundlagen der Rechentechnik eingeführt, wobei in diesem Zusammenhang auch Kriterien zur Einschätzung von Programmpaketen geliefert werden. Wesentlicher Inhalt des Buches sind neben der elementaren statistischen Analyse die Regressions- und Korrelationsanalyse, die Dispersionsanalyse und Methoden der multiplen statistischen Analyse, wie Klassifikation, Diskriminanzanalyse, Faktor- und Dispersionsanalyse. B 1830 *K.-H. Winter*

Neue Aspekte der Informations- und Systemtheorie (NTG Fachberichte Band 84). Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1983. 380 Seiten, zahlr. Bilder.

Vom 23. bis 25. März 1983 veranstaltete der Fachausschuß „Informations- und Systemtheorie" der Nachrichtentechnischen Gesellschaft (NTG) im Verband Deutscher Elektrotechniker der BRD in Garmisch-Partenkirchen eine Tagung mit der Zielstellung, speziell die modernen Anwendungsgebiete der Informations- und Systemtheorie, wie sie sich aus dem zunehmenden Einsatz von digitalen Übertragungs- und Vermittlungseinrichtungen sowie von digitalen Endgeräten und Zentralen ergeben, theoretisch fundiert darzustellen.
Der Tagungsband gliedert sich in 6 Themengruppen, jeweils beginnend mit einem Übersichtsvortrag. Im 1. Schwerpunkt „Modelle gestörter Kanäle" findet interessanterweise eine Konzentration auf die Fading-Kanäle des Mobilfunks statt. Der 2. Abschnitt „Optimierung digitaler Systeme" behandelt vorrangig die drahtgebundene Übertragung, insbesondere die empfängerseitige Störunterdrückung, z. B. durch Optimalschätzverfahren. Unter 3. „Modulation" findet man moderne Konzeptionen der Signalkodierung auf der Basis der statistischen Nachrichtentheorie und der Automatentheorie. Der 4. Abschnitt „Kanalkodierung" beschäftigt sich u. a. mit der Fehlersicherung und -korrektur durch Kodespreizung und spezielle Klassen der zyklischen Kodes. Das 5. Thema „Quellenkodierung" reicht von der statistischen Verteilung der Kodewörter über Betrachtungen zu leistungsfähigen A/D-Umsetzern bis zur Datenreduktion bei Bildsignalen. Interessant ist die Weiterführung des Konzepts der gemeinsamen Quellen- und Kanalkodierung in der digitalen Bildübertragung. Dies leitet über zum 6. Abschnitt „Mehrdimensionale Systemtheorie", der mit einem bemerkenswerten Übersichtsvortrag von *H. Marko* beginnt. Es folgen theoretische Arbeiten, die sich befruchtend auf die praktische Lösung der zwei- und dreidimensionalen Objekterkennung auswirken werden.

Der Tagungsband ist eine gelungene Momentaufnahme in einer Zeit der stürmischen Entwicklung der Digitaltechnik in den verschiedensten technischen Systemen und Frequenzbereichen: der Telemetrie, dem mobilen Daten- und Satellitenfunk, dem Richtfunk, der Sprach- und Bildübertragung, der automatischen Bildverarbeitung und der Robotertechnik. B 1826 *M. Siakkou*

Theorie der automatischen Steuerung. Nichtlineare Systeme, Steuerung bei zufälligen Einflußgrößen (in Russ.). Von *A. V. Netušil* (Herausgeber). Moskau: Wysšaja škola 1983. 2. Auflage. 432 Seiten, 256 Bilder, 6 Tafeln.

Das Buch ist eine Gemeinschaftsarbeit der Autoren *A. V. Netušil*, der gleichzeitig der Herausgeber ist, *A. V. Baltruševcič*, *V. V. Burlajew*, *R. E. Kusin* und *N. M. Alexandrowski*. Dem Rezensenten sind die Autoren seit mehr als zehn Jahren aus eigener wissenschaftlicher Arbeit bekannt. Um so erfreulicher ist es, die zweite, überarbeitete und vervollständigte Auflage des Fach- und Lehrbuches zu lesen. Es stellt eine zusammenfassende Darstellung der klassischen Theorie nichtlinearer Steuerungssysteme dar. Den größten Umfang hat mit acht Kapiteln der erste Teil: Nichtlineare Systeme bei determinierten Einflußgrößen. Die vier Kapitel des zweiten Teils sind den Systemen bei zufälligen Einflußgrößen gewidmet.
Der Leser wird zunächst an instruktiven Beispielen mit den wesentlichen Eigenschaften von Nichtlinearitäten und nichtlinearen Steuerungssystemen vertraut gemacht. Es folgen Darlegungen zur Statik und zu typischen Grundstrukturen nichtlinearer Systeme und ihren Transformationsmöglichkeiten. Daran anschließend wird die Dynamik nichtlinearer Systeme behandelt, dabei spielt die Phasenebene eine besondere Rolle. Als weitere wichtige Beschreibungsart wird die harmonische Linearisierung (Beschreibungsfunktion) betrachtet. Der Stabilität, insbesondere der zweiten Methode von *Ljapunov* und der absoluten Stabilität nach dem Frequenzkennlinienverfahren von *V. M. Popov*, wird das erforderliche Augenmerk gewidmet. Anschließend werden die Analyse von Übergangsprozessen und die Güte in nichtlinearen Regelungssystemen betrachtet. Der erste Teil schließt mit zwei Kapiteln zur Theorie optimaler bzw. adaptiver Steuerungssysteme bei determinierten Einflußgrößen ab.
Der zweite Teil beginnt mit theoretischen Grundlagen zufälliger Größen in Steuerungssystemen. Der Apparat zur Beschreibung stochastischer Signale wird eingeführt. Die folgenden drei Kapitel behandeln die Beschreibung linearer, nichtlinearer, optimaler und adaptiver Systeme mit zufälligen Einflußgrößen. Die Darlegungen sind getragen von der Anwendung ingenieurmäßiger grafo-analytischer Methoden und der Analog- und Digitalrechner für die Untersuchung nichtlinearer Steuerungssysteme. Der Einsatz moderner mikroelektronischer Mittel zur Realisierung nichtlinearer Systeme lag offensichtlich nicht in der Zielstellung des Buches, wäre aber wünschenswert. Die jahrzehntelangen Erfahrungen der Autoren in der studentischen Ausbildung trugen zu dem gelungenen Lehrbuch bei. Die mathematischen Darlegungen sind durch zahlreiche Bilder illustriert, so daß das Verständnis steigt. Dieses Buch ist für jeden Automatisierungstechniker interessant, der nichtlineare Steuerungssysteme behandelt.
B 1812 *G. Müller*

Regelungstechnik II. Zustandsregelungen, digitale und nichtlineare Regelsysteme. Von *H. Unbehauen*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH 1983. 274 Seiten, 91 Bilder.

Während der 1. Band dieses Lehrbuchs die „klassischen Methoden für die Beschreibung und den Entwurf stetiger linearer Regelungssystem zum Inhalt hatte, befaßte“ sich der 2. Band mit Begriffen und Verfahren, die oft als „modern“ bezeichnet wurden, heute aber längst zum festen Bestandteil von Lehrbuchliteratur und Hochschulausbildung gehören und durch den Einsatz von Rechnern in wachsendem Maße Eingang in die Praxis finden.
Die Zustandsgleichungen linearer Ein- und Mehrgrößensysteme werden im ersten Kapitel physikalisch motiviert eingeführt. Nach Behandlung des formalen Apparates, der die nötige Flexibilität in der Verwendung dieser Beschreibungsform sichert — Integration der Gleichungen, Normalformen für Eingrößensysteme, Transformationen des Zustandsraumes —, sowie der Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit werden einige Syntheseverfahren für Ein- und Mehrgrößenregelungen hergeleitet: Regelung mit Zustands- oder Ausgangsrückführung sowie Vorfilterung der Führungsgröße, Polverschiebung (in mehreren Lösungsvarianten), Entwurf eines Identitätsbeobachters und Separationsprinzips; als weitere Möglichkeit wird die optimale Zustandsregelung mit quadratischem Gütekriterium erwähnt.
Mit linearen zeitdiskreten (diskontinuierlichen) Systemen und ihrer wichtigsten Anwendung, dem Regelkreis mit Rechnerregler, befaßt sich das zweite Kapitel. Nach Bereitstellung der mathematischen Hilfsmittel — z-Transformation von Zahlenfolgen und Z-Transformation von Laplace-Bildfunktionen sowie ihrer Rechengesetze — interessieren vor allem die Entwurfsverfahren für digitale Regelungen: diskreter PID-Algorithmus und diskrete Kompensationsalgorithmen, u. a. die Regelung auf endliche Einstellzeit (deadbeat) für Führungs- und Störverhalten. Die Zustandsraumdarstellung diskreter Systeme stellt den Anschluß zum ersten Kapitel her.
Für nichtlineare Regelungen haben sich traditionelle ingenieurmäßige Analyse- und Syntheseverfahren herausgebildet, denen das dritte Kapitel gewidmet ist: Zwei- und Dreipunktregler an Strecken 1. Ordnung mit Totzeit sowie als stetigähnliche Regler, die Methode der Beschreibungsfunktion für statische Nichtlinearitäten, die Analyse von Regelkreisen 2. Ordnung in der Phasenebene, die Grundgedanken der Ljapunovschen Stabilitätstheorie bis zur direkten Methode sowie das Popov-Kriterium für absolute Stabilität.
Wie die Übersicht zeigt, folgt das Lehrbuch bewährten Grundlinien der Stoffauswahl. Es zeichnet sich durch eine präzise und einprägsame Darlegung der Zusammenhänge aus und läßt auch in vielen Details die langjährige Lehrerfahrung des Verfassers erkennen, so daß es hervorragend zum Selbststudium geeignet ist. Einem angekündigten 3. Band wird mit Interesse entgegengesehen.
B 1846 *H. L. Burmeister*

Einführung in die Theorie unscharfer Mengen (in Russ.). Von *A. Kaufmann*. Moskau: Radio i svjaz' 1982. 432 Seiten, 8 Tafeln, 386 Bilder.

Nachdem vor mehr als zwanzig Jahren von *Zadeh* die ersten Veröffentlichungen zur Theorie der unscharfen Mengen (fuzzy sets) erschienen, setzte eine breite Diskussion um den praktischen Wert dieser Theorie ein. Gegenwärtig haben sich Theorie und Anwendung so weit entwickelt, daß Skeptizismus in dieser Richtung meist verbunden ist mit ungenügender Information über den erreichten Stand. Das schon 1973 erschienene Werk des bekannten französischen Wissenschaftlers und Pädagogen zur Theorie der unscharfen Mengen hat in der vorliegenden Fassung bereits einige Überarbeitungen erlebt und seine Verehrer in aller Welt gefunden. Es legt in der für den Autor bekannten didaktischen Qualität und Klarheit systematisch die Theorie dar, wobei auch ein eigener Beitrag bei der Weiterentwicklung der Theorie zu erkennen ist.
Das Buch widmet sich vor allem den mathematischen Aspekten. Ein zweiter Band behandelt die Anwendung auf Informationsprozesse in automatisierten Systemen sowie bei der Entscheidungsfindung. Die Theorie der unscharfen Mengen ermöglicht all das zu strukturieren, was durch nicht sehr scharfe Grenzen abgegrenzt werden kann. Nach einer Behandlung der grundlegenden Begriffe, wie Zugehörigkeit, unscharfe Teilmenge, Dominanz und einfache Operationen mit unscharfen Mengen verallgemeinert der Autor die Begriffe des Graphen, der Relation u. a. auf der Grundlage der unscharfen Teilmengen. Ebenfalls legt er Grundlagen für eine unscharfe Logik, d. h. eine Logik, verbunden mit der Theorie der unscharfen Mengen. In diesem Zusammenhang führt der Autor neben den Gemeinsamkeiten mit der Wahrscheinlichkeitstheorie auch die Notwendigkeit ihrer Unterscheidung an. Abschließend werden Gesetze der unscharfen Komposition und eine auf *Zadeh* zurückgehende Verallgemeinerung des Begriffs der unscharfen Teilmenge behandelt.
B 1829 *J. Peters*

Prozessortechnik (Basiswissen Elektronik, Band 6). Von *D. Benda*. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1983. 176 Seiten, zahlreiche Bilder.

Der Autor gibt auf engem Raum eine beeindruckende, klare Darstellung zur Mikrorechner-Hardware. Dabei werden neben dem Aufbau und der Funktion von Mikroprozessoren die Arbeitsweise von Halbleiterspeichern, Peripheriebausteinen und Bus-Systemen erläutert und Fragen der Adressierung, der Kopplung und des Verwendungszwecks allseitig behandelt. Besonders wertvoll ist die Angabe zahlreicher Schaltungen für einfache, jedoch wichtige Anwendungsbeispiele der Mikrorechentechnik. In ihnen findet der Leser die in den einzelnen Abschnitten entwickelten Details im praxisrelevanten Zusammenhang angewendet. Im letzten Abschnitt werden

darüber hinaus Anregungen zur Mikrocomputer-Meßtechnik gegeben, wobei die Verwendung von Logikanalysatoren und speziellen Meß- und Testschaltungen im Vordergrund stehen. Bemerkenswert ist allerdings, daß der Autor das Problem der Programmierung von Mikrorechnern nur gelegentlich streift. Aus diesem Grunde ist der Leser auf ausreichende Software-Vorkenntnisse angewiesen, da sonst die technischen Ausführungen des Buches nur schwerlich verarbeitet werden können. Sind diese Voraussetzungen jedoch gegeben, erlaubt die pädagogisch geschickte und reichhaltig illustrierte Darlegung einen leichten und dabei wissenschaftlich exakten Einstieg in die Technik der Mikrorechner. Als etwas abträglich wird der Umstand empfunden, daß der Verfasser seine Erklärungen allein auf Schaltkreise der Firma Intel bezieht, so daß ein zwar typisches, aber dennoch unnötig uniformes Bild entsteht.

B 1845 *J. Zaremba*

Elektrische Meßtechnik. Messung elektrischer und nichtelektrischer Größen. Von *E. Schrüfer*. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1983. 376 Seiten, 326 Bilder, 29 Tafeln.

Die mit den Fortschritten der Halbleitertechnologie einhergehende Umstellung aller Bereiche der Elektrotechnik auf elektronische Komponenten und Funktionseinheiten wirkt ebenso auf die elektrische Meßtechnik, wie die mit den signalverarbeitenden Strukturen verknüpften funktionsspezifischen Algorithmen auf die Methoden und Verfahren zurückwirken, die in der jeweiligen Disziplin Anwendung finden. Ein neues Buch über die elektrische Meßtechnik muß sich demnach (auch) an solchen Tendenzen messen lassen.

Der Autor hat das Buch nach elektrotechnischen Kategorien als übergeordneten Gesichtspunkt geordnet (Strom, Spannung, Ladung, ohmscher Widerstand, Blindwiderstand, Frequenz). Dadurch entsteht ein frappierender Effekt: das Kapitel über die Messung von Strom und Spannung enthält zugleich alle Effekte und Aufnehmer, die Spannungen, Ströme oder Ladungen der Einwirkung einer physikalischen Größe erzeugen; das Kapitel über die Messung von Blindwiderständen, die induktiven und kapazitiven Aufnehmer usw. Damit geht der Inhalt weit über das hinaus, was man unter dem Titel „Elektrische Meßtechnik" traditionell vermuten könnte, es wird der Bereich der elektrischen Messung nichtelektrischer Größen weitgehend erfaßt.

Entsprechend den eingangs genannten Tendenzen werden elektromechanische Meßwerke nur kurz, Meßverstärker (Operationsverstärker) und andere elektronische Funktionseinheiten aber sehr gründlich behandelt. Gleiches gilt für Funktionseinheiten zur Verarbeitung digitaler Signale. Daß dabei bis auf die Gesetze der Schaltalgebra zurückgegangen wird, ist vielleicht etwas übertrieben, stört aber nicht.

Für den Benutzer dürfte es auf jeden Fall von großem Nutzen sein, daß einmal eingeführte Darstellungs- und Betrachtungsweisen konsequent beibehalten werden und so das im Buch überstrichene große Gebiet der Meßtechnik noch transparent bleibt.

Auf dem Rücktitel wird das Buch als didaktisch und fachlich hervorragendes Lehrbuch bezeichnet, mit dem sowohl dem Studierenden als auch dem Meßtechniker in der Praxis ein in jeder Hinsicht ausgereiftes, hochqualifiziertes Standardwerk geboten werde. Das klingt zwar sehr anspruchsvoll, dem ist aber zuzustimmen. Die Einbandgestaltung erscheint dem Rezensenten besonders gelungen.

B 1836 *W. Richter*

Steuerungssysteme in der Schwarzmetallurgie (in Russ.). Von *D. A. Gorelov* und *A. S. Gugel*. Kiew: Technika 1982. 143 Seiten, 14 Bilder, 14 Tafeln.

Ein wesentlicher Faktor für eine effektive und stabile Entwicklung der Industrieproduktion ist eine geeignete Organisation. Unter den Bedingungen der Schwarzmetallurgie erhält die Organisation aufgrund der hohen Konzentration materieller Ressourcen sowie von Arbeitskräften, einer hohen Intensität und Komplexität der produktionstechnischen und ökonomischen Beziehungen sowie der Vielfalt technologischer Prozesse besondere Bedeutung. Im Buch wird der Versuch unternommen, eine große Anzahl offener Fragen dieses Industriezweiges aus der Sicht der Analyse von Organisationssystemen zu beantworten und, darauf aufbauend, eine geeignete methodologische Grundlage für die Projektierung entsprechender automatisierter Steuerungssysteme zu geben. Dabei werden die bereits in Theorie und Praxis vorhandenen Erfahrungen zusammengefaßt und systematisch dargelegt. Neben einer Vervollkommnung der Steuerung metallurgischer Betriebe auf der Grundlage einer Analyse der zur Zeit vorhandenen Steuerungssysteme widmen sich die Autoren dabei auch der Entwicklung des Steuerungssystems des Industriezweiges insgesamt.

B 1842 *J.-A. Müller*

Interfaceschaltung zur Meßwerterfassung. Herausgeber: *D. H. Sheingold*. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1983. 251 Seiten, 163 Bilder, 9 Tafeln.

Das Buch ist eine autorisierte Übersetzung des „Transducer Interfacing Handbook" der Analog Devices Inc. Norwood, Mass./USA. Insofern könnte man vermuten, es handelt sich um eine reine Applikationsschrift für Funktionseinheiten dieses bekannten Herstellers. Das Buch ist aber nicht nur listig angelegt (es werden nämlich erst in der zweiten Hälfte Anwendungsbeispiele für fertig beziehbare Funktionseinheiten besprochen), sondern es werden derart viele Details aus der Schaltungs- und Anwendungspraxis zur analogen Meßwertgewinnung, -übertragung und -verarbeitung mitgeteilt, wie sie eben erst aus langjähriger Erfahrung von Kollektiven erwachsen können, die sich einem bestimmten Problemkreis gezielt und ständig widmen. Wo findet man z. B. sonst, daß etwa schon durch Verwendung von Schaltlitze verschiedener Hersteller eine Thermospannung von 200 nV/K entstehen kann, oder daß die jährliche Temperaturdrift eines Operationsverstärkers ungefähr das $\sqrt{12}$fache der monatlichen Drift beträgt? Ein letztes Zitat:

„Es gibt wohl kein Wort in der Elektronik, das mehr mißbraucht wird als die Bezeichnung ‚Erde'".

Im einzelnen werden behandelt: Der Meßumformer als Teil des Meßkreises; Brückenschaltung zur Signalverarbeitung; Störproblem; Verstärker und Anpassungsschaltungen; Nullpunktunterdrückung und Linearisierung; Interface-Probleme und schließlich in weiteren 9 Kapiteln Anwendungen, wobei als Meßfühler Thermoelemente, Thermistoren, Halbleiter- und Widerstandswandler für Temperatur, Druck, Kraft, Durchfluß und Füllstand dienen.

Das Buch ist jedem Meßtechniker, Schaltungsentwickler und Experimentator zu empfehlen, der in irgendeiner Weise kleine analoge Meßsignale erfassen und verarbeiten muß. Es ist, wie eingangs gesagt, eine Fundgrube für Schaltungserfahrungen und erst sehr sekundär Firmenapplikation. Der Herausgeber schreibt im Vorwort, daß es nach Wissen der Autoren das erste dieser Art sei. Dem ist nicht zu widersprechen. Die beiden Übersetzer haben den lockeren Ton des Originals gut ins Deutsche übertragen.

B 1837 *W. Richter*

Reaktorinstrumentierung. Prozeßmeßtechnik und Leistungsregelung im Kernkraftwerk. Von *G. Kaiser* u. a. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1983. 415 Seiten.

Kernkraftwerke (KKW) sind heute komplexe Industrieanlagen, die in zunehmendem Maße zur Deckung des Energiebedarfs beitragen und immer weniger exklusive Novität bleiben. Nach wie vor sind sie aber eine Herausforderung an Technologie und Technik, weil sowohl Betriebsführung als auch Sicherheitsforderungen über gewohnte Konzepte hinausgehen. Leiteinrichtungen in Kernkraftwerken können deshalb bezüglich Auslegung, Zuverlässigkeit, Sicherungsmaßnahmen und anderer Algorithmen durchaus als Beispiele für anspruchsvolle Leittechniken in anderen Großanlagen angesehen werden.

Es ist sehr zu begrüßen, daß mit diesem Buch wohl erstmalig die Methoden und Verfahren der Prozeßmeßtechnik, der Leistungsregelung und der Auslegung von Leiteinrichtungen für Druck-, Siedewasser- und Hochtemperaturreaktoren handbuchartig zusammengefaßt dargestellt werden. Die insgesamt 16 Autoren (sie werden sämtlich auch bezüglich ihrer beruflichen Tätigkeit vorgestellt) stützen sich dabei auf ihre Erfahrungen aus der Errichtung und dem Betrieb von Kernkraftwerken in verschiedenen Ländern und auf Materialien, die sie in Schulungsseminaren zum gleichen Problemkreis benutzten. Dabei wurde bewußt auf Einrichtungen für Labor- und Versuchsreaktoren verzichtet, um den derzeit gesicherten technischen Stand weitergeben zu können.

Im einzelnen werden behandelt: Aufgaben und Anforderungen, Auslegungsfragen gegen Einwirkung von innen und außen, Kabel und Durchführungen, elektromagnetische Verträglichkeit (Störbeeinflussung), Prozeßmeßtechnik im KKW, Überwachungs- und Regelkonzepte, Hilfsenergieversorgung. Dabei werden stets die derzeitig gültigen oder im Entwurf vorliegenden nationalen und internationalen Vorschriftenwerke (KTA, DIN, IEC, IEEE, IAEA) angezogen, so daß der Benutzer eine sehr umfassende und weitgehend aktuelle Übersicht bekommt. Die erzielte Kompaktheit ist natürlich anspruchsvoll; der Benutzerkreis ist jedoch nicht nur

auf Projektanten, Errichter und Betreiber von KKW-Leiteinrichtungen begrenzt, sondern ist weiter zu fassen. Entwickler und Projektanten von Automatisierungsanlagen für verfahrenstechnische Großvorhaben sollten bezüglich der Sicherheits- und Sicherungskonzepte, bezüglich der Festlegung von Aufgaben für Mensch und Leiteinrichtung (Mensch-Maschine-Kommunikation bei der Prozeßsicherung) und auch wegen mancher technisch-technologisch originellen Lösung anspruchsvoller Meßprobleme das Buch zur Hand nehmen.

B 1834 *W. Richter*

Bauelemente der Optik. Taschenbuch für Konstrukteure. 4., überarbeitete und erweiterte Ausgabe des Werkes *Naumann*, Optik für Konstrukteure. Von *H. Naumann* und *G. Schröder*. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1983. 599 Seiten, 389 Bilder, 74 Tafeln.

Seit über 30 Jahren hat sich das Buch „Optik für Konstrukteure" bewährt. Die jetzt unter dem Titel „Bauelemente der Optik" vorliegende Neubearbeitung wurde von Prof. *Schröder*, Fachhochschule Frankfurt/M., durchgeführt. Das Buch ist weniger als Lehrbuch der technischen Optik konzipiert, sondern als Handbuch für Konstrukteure des optischen Präzisionsgerätebaus. Auch für das Gebiet der Automatisierungstechnik ist das Buch von Interesse, weil moderne Bereiche der Optik, wie Strahlungsquellen und lichtelektrische Empfänger, Lichtschranken und Lichttaster, optoelektronische Meßsysteme, automatische Entfernungsmeß- und Fokussiereinrichtungen sowie Licht- und Bildwandler, berücksichtigt wurden.
Aus folgender Aufzählung der Kapitelüberschriften ist der breitangelegte und praxisverbundene Inhalt des Buches ersichtlich: Optische Grundbegriffe, Bewertung optischer Strahlung, Werkstoffe und Herstellungsverfahren, optische Abbildung, Bauelemente auf der Basis von Reflexion und Brechung, Strahlungsquellen, Empfänger und Filter, mechanische Bauelemente, Einbau und Justierung von Bauteilen, Beleuchtung in optischen Geräten, Beobachtungs- und Zielgeräte, Entfernungsmesser, Mikroskope, Fotografie, optische Informationsübertragung und Bildgüte, optische Längenmessung, Messung optischer Größen, Interferometrie, Beugungsgitter, Spektralgeräte, Fotometrie, Farbmessung, Polarisationsoptik, Lichtleiter, Faseroptik, Gradientenoptik, optoelektronische Geräte, Fernsehsysteme, Bildwandler, Infrarottechnik, Holografie.
Obwohl eine Vielzahl von Prinzipien, Verfahren, Bauteilen und Baugruppen beschrieben wurde, ist dennoch zu jedem Thema das Wesentlichste mitgeteilt. Jeder Themenkomplex beginnt mit einer knappen Einführung in die technisch-physikalischen Grundlagen. Es folgen Funktionsbeschreibungen und Konstruktionsbeispiele einzelner Bauteile oder Baugruppen. Auf die richtige Anwendung sowie auf Sonderanwendungen wird eingegangen. Literaturhinweise am Ende eines jeden Abschnitts erleichtern die weitere Orientierung, und ein Verzeichnis der wichtigsten Hersteller der jeweils behandelten Erzeugnisse kann dem Konstrukteur als Wegweiser in praktischen Fragen dienen. Autoren und Gestaltern des Buches sei bescheinigt, daß sie ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Informationsdichte und Nutzerfreundlichkeit gefunden haben. Das trifft sowohl für den redundanzarmen, aber gut verständlichen Text als auch für die informativen und übersichtlichen Bilder, Tafeln, Textstrukturierungen und Lesehilfen zu. Befremdlich hingegen ist der Anzeigenanhang, dessen kommerzieller Nutzen zwar einsehbar ist, der aber doch eher den Fachzeitschriften vorbehalten bleiben sollte.

B 1840 *U. Maxam*

Die elektrische Leitfähigkeit abflammbarer Gas/Luft-Gemische (ETZ-Report 17). Von *W. Wörmann* und *H. Groh*. Berlin/Offenbach: VDE-Verlag GmbH 1983. 60 Seiten, 23 Bilder, 9 Tafeln.

Die Reaktionsfront brennbarer Gas/Luft-Gemische ist elektrisch leitfähig. Sie stellt einen feldstärkeabhängigen Wirkwiderstand dar. Damit ergibt sich eine technische Bedeutung vorrangig in 2 Bereichen:
— Ortung anlaufender Explosionen in Behältern einfacher Geometrie
— Berücksichtigung der niederohmigen Flammfront bei der Auslegung explosionsgeschützter Betriebsmittel in der Zündschutzart „Druckfeste Kapselung".

Die Autoren haben sich das Ziel gestellt, eine Übersicht über die elektrischen und teilweise thermischen Kennwerte abflammbarer Gas/Luft-Gemische zu geben. Es werden die wichtigsten großtechnisch produzierten Kohlenwasserstoffe und Wasserstoff berücksichtigt.
Nach einem einleitenden Kapitel, in dem vorrangig die Probleme des Explosionsschutzes in der Zündschutzart „Druckfeste Kapselung" behandelt werden, folgt ein Grundlagenkapitel, das eine Einführung in die funktionelle Beschreibung von Verbrennungsvorgängen sowie der Ionisation und Stoßionisation beinhaltet. Die folgenden Kapitel befassen sich mit der Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von Gasart, Gaskonzentration, elektrischer Feldstärke und dem Einfluß des Zündzeitpunktes bei der Anwendung von Wechselstrom.
Abschließend werden technische Anwendungen bei der Ortung von Flammenfronten und dem Betriebsverhalten elektrischer Betriebsmittel in der Zündschutzart „Druckfeste Kapselung" behandelt.
Im Buch ist es gelungen, eine Reihe neuer Kennwerte für die Behandlung brennbarer Gas/Luft-Gemische geschlossen darzustellen. Hervorzuheben ist, daß vor allem der genaue Versuchsaufbau, Musterprotokolle und Versuchsdurchführungen angeführt sind, die eine Übertragung der Methode auf ähnliche Probleme gestatten. Hinweise für praktische Anwendungen sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse werden abschließend aufgezeigt.
Die gut durchdachten Abbildungen und Tafeln zeigen anschaulich die gefundenen Ergebnisse. Das Buch hat einen hohen Neuheitswert und stellt ein hervorragendes Hilfsmittel beim Entwurf explosionsgeschützter Betriebsmittel dar, weil hiermit Aspekte der Konstruktion berücksichtigt werden können, die über die derzeitigen Vorschriftenwerke teilweise hinausgehen.

B 1825 *H. Gatzmanga*

Motoren und Generatoren mit Dauermagneten. Von *K. Ruschmeyer* u. a. Grafenau: expert verlag GmbH 1983. 204 Seiten, zahlr. Bilder.

Der Band vermittelt Grundwissen über permanentmagnetisch erregte Kleinstmaschinen. In 8 Beiträgen wird von verschiedenen Autoren auf Fragen der Berechnung, Gestaltung und Schaltungstechnik von Kleinstantrieben eingegangen. Besondere Aufmerksamkeit wird den Eigenschaften der magnetischen Werkstoffe, insbesondere der oxydkeramischen Werkstoffe, Legierungsmagneten und Seltenerd-Kobalten gewidmet. Anhand der Grundgesetze des magnetischen Kreises werden dazu Dimensionierungsrichtlinien angegeben. Der magnetische Kreis in elektrischen Maschinen erfährt durch die elektromagnetische Rückwirkung der stromdurchflossenen Spulen eine besondere Beeinflussung, die beim Entwurf entsprechend zu berücksichtigen ist. Nur dadurch läßt sich das Dauermagnetmaterial optimal ausnutzen. Beachtenswert ist das dargestellte Berechnungsverfahren, mit dem sich nach Vorgabe von Drehmoment und Drehzahl wichtige Parameter für den Entwurf der Maschine bei maximaler magnetischer Energieausnutzung bestimmen lassen. In dem Beitrag über Gleichstromkleinstmotoren mit elektronischer Kommutierung wird ein guter Überblick über die Eigenschaften und Einsatzgebiete dieser Maschinen gegeben. Größtenteils werden dafür lagewinkelgesteuerte Transistorschaltungen als Ersatz für den Kommutator eingesetzt. Durch die bürstenlose Ausführung ergeben sich die Vorteile einer größeren Lebensdauer, einer geringeren Störverursachung und die Möglichkeit, hohe Drehzahlen zu erreichen. Diese Eigenschaften sind für Antriebe in der Unterhaltungselektronik bis hin zum Positionierantrieb für Werkzeugmaschinen von Interesse. Im weiteren werden insbesondere für die Hersteller von Kleinstmotoren eine Reihe von Hinweisen zur Gestaltung und Dimensionierung der Magnetisiergeräte gegeben. Die volle Ausnutzung der magnetischen Energie der Dauermagnetwerkstoffe hängt maßgeblich von ihrer Formgestaltung und der damit im Zusammenhang stehenden konstruktiven Ausbildung dieser Geräte ab.

Ein Beitrag über Schrittmotoren vermittelt in anschaulicher Weise Grundlagen, Wirkungsweise und Betriebsverhalten dieser digital arbeitenden Energiewandler. Beim Entwurf von Schrittmotorantriebssystemen muß eine enge Einbeziehung der leistungselektronischen Stellglieder in den Gesamtentwurf erfolgen. Sie ist eine wichtige Voraussetzung für die volle Ausnutzung des Leistungsvermögens dieses Antriebssystems. Zum Schluß werden einige Beispiele für Steuer- und Regelverfahren von Kleinstantrieben vorgestellt.

Das Buch ist in verständlicher Form abgefaßt. Es setzt nur einfache Grundkenntnisse der Elektrotechnik und Regelungstechnik voraus. Bei einer Neuauflage ist die Verwendung einheitlicher Formelzeichen für alle Beiträge zu empfehlen. Das Buch wendet sich vorrangig an Entwickler und Berechner elektrischer Kleinstmaschinen.

B 1877 *J. Vogel*

KURZFASSUNGEN

Wechsung, G.:

Entwurf effizienter Algorithmen — wesentliche Voraussetzung für rationelle Behandlung von Automatisierungsproblemen

msr, Berlin 27 (1984) 7, S. 290—293

Im Beitrag wird zunächst die Bedeutung des Entwurfs von Algorithmen mit geringer Kompliziertheit für Automatisierungsprobleme herausgestellt. Nach einer Erläuterung kompliziertheitstheoretischer Grundbegriffe werden drei Entwurfsprinzipien (Teile und herrsche, *Greedy*, Dynamische Optimierung) vorgestellt und an Beispielen erläutert. Die notwendigen Begriffsbildungen über Optimierungsprobleme sind enthalten, und man erhält einen Einblick in die Theorie der approximativen Problemlösung.

W. W. Solodownikow:

Das Prinzip der Kompliziertheit in der modernen Steuerungstheorie

msr, Berlin 27 (1984) 7, S. 294—296

Im Beitrag wird eine neue Methode des Entwurfs technischer Systeme — das Prinzip der Kompliziertheit — in den Grundzügen erläutert. Die Illustration seiner Anwendung erfolgt anhand von Beispielen und Aufgabenstellungen der Steuerungstheorie. Die Theorie der Kompliziertheit berücksichtigt neben den Anforderungen an die Qualität auch die zur Systemrealisierung notwendigen Aufwendungen (die Kompliziertheit).

Fuchs, H.:

Erfahrungen beim Einsatz von Geräten und Einrichtungen des Systems ursatron 5000

msr, Berlin 27 (1984) 7, S. 298—301

Mikrorechnergestützte Automatisierungssysteme und hierarchische Strukturen haben einen Wandel in der Automatisierungstechnik bewirkt. Das System ursatron 5000 der DDR-Industrie reiht sich in diese Entwicklung voll ein. Erfahrungen bei Einsatz dieser Gerätetechnik werden an ausgewählten Beispielen aus unterschiedlichen Industriezweigen dargestellt, u. a. nichtnumerische Werkzeugmaschinensteuerungen, speicherprogrammierbare Steuerungen auf Schiffen, Reglereinsatz in der chemischen Industrie, in Kraftwerken und zur Regelung in Gewächshäusern. Allgemeingültige Schlußfolgerungen für weitere Entwicklungen werden gezogen.

Hoyer, H.:

Prozeß-Schnittstellen in der Mikrorechentechnik

msr, Berlin 27 (1984) 7, S. 302 und 303

Als Alternative zur analogen Spannung wird die Frequenz als Signalparameter diskutiert. Sie gestattet in vielen Fällen eine sehr kostengünstige und dennoch zuverlässige Schnittstellengestaltung. Die Zusammenhänge zwischen Genauigkeit, Zeitverhalten und gerätetechnischem Aufwand werden näher dargestellt. Auch die Realisierung einer Mensch-Maschine-Kommunikation und von Datenfernübertragungen ist mit einfachen Mitteln möglich.

Kirste, A.:

Regelkreisstrukturen einer elektromechanisch-hydraulischen Stelleinrichtung zum Lenken des Radtraktors K-700 und ihre gerätetechnische Realisierung

msr, Berlin 27 (1984) 7, S. 308—311

Für die automatische Lenkung des knickgelenkten Traktors K-700 wird das serienmäßige hydraulische Handlenkaggregat verwendet. Als Antrieb dient ein Gleichstromstellmotor mit Transistorpulssteller. Näher untersucht werden die Regelstrecke mit den durch Lose, Ventilkennlinie und Rückstellfedern gebildeten nichtlinearen Übertragungsgliedern sowie mögliche Hilfsregelgrößen, da nur so eine stabile Folgeregelung des Knickwinkels möglich ist. Als Vorzugsvariante ohne erforderliche Eingriffe in die Handlenkeinrichtung wird die aus den Meßgrößen Motorstrom und -winkelgeschwindigkeit gebildete Hilfsgröße Lenkspindelmoment in Verbindung mit einem Mikrorechnerregler herausgestellt.

Blumauer, G.; Diederich, O.:

Projektierung von Ventilverkettungsstrukturen mit dem ORSTA-Ventilbaukasten „p_n 32"

msr, Berlin 27 (1984) 7, S. 312—315

Der Entwurf von Ventilverkettungsstrukturen zur Darstellung hydraulischer Steuerungen ist ein zeitintensiver Bearbeitungsabschnitt mit hohem Anteil an Routinetätigkeiten. Der Baukasten für Ventile der Unterplattenverkettung ist komplex und bietet große Variabilität an möglichen Verkettungen. Auf der Basis von Analysen beim Hersteller von Ventilverkettungen wurden die Typenvielfalt stark einschränkende Vorzugsvarianten in Form eines Projektierungskataloges zusammengestellt. Dieser Katalog, in Verbindung mit Regeln und Hinweisen zur Projektierung einer Struktur, erleichtert die Projektierungsarbeit.

Friedrich, A.:

Systematische Verfahren zur Projektierung von Steuerungen für Sondermaschinen und Handhabegeräte

msr, Berlin 27 (1984) 7, S. 316—320

Auf der Grundlage eines Beispiels aus der Fertigungstechnik werden vier einfache Entwurfsverfahren vorgestellt, die auf systematischem Wege zu Signalflußplänen, Steuerstromlaufplänen und Steuerungsprogrammen für nichtnumerisch gesteuerte Sondermaschinen oder Handhabegeräte führen. Dabei werden die Vor- und Nachteile dieser Verfahren hinsichtlich Projektierungsaufwand, Eignung für eine bestimmte Gerätetechnik aus materialökonomischer Sicht und Vermeidung von Signalwettläufen herausgearbeitet.

РЕЗЮМЕ

Wechsung, G.:

Разработка эффициентных алгоритмов — основная предпосылка рациональной обработки проблем автоматизации

msr, Berlin 27 (1984) 7, стр. 290—293

В статье сперва отмечено значение разработки алгоритмов с небольшой сложностью для проблем автоматизации. После пояснения основных теоретических понятий сложности представлены три принципа разработки (divide et impera, greedy, динамическая оптимизация), которые пояснены на примерах. Включено образование необходимых понятий проблем оптимизации и дан обзор о теории решения аппроксимирующих проблем.

W. W. Solodownikow:

Принцип сложности состава в области современной теории управления

msr, Berlin 27 (1984) 7, стр. 294—296

В статье в основных чертах пояснен новый метод разработки технических систем, принцип сложности состава. Иллюстрация его применения производится на примерах и заданиях теории управления. Наряду с требованиями к качеству, теория сложности состава учитывает также и затраты, необходимые для реализации системы (сложность состава).

Fuchs, H.:

Опыт, накопленный при применении приборов и устройств системы УРСАТРОН 5000

msr, Berlin 27 (1984) 7, стр. 298—301

Системы автоматизации с применением микровычислителей и иерархические структуры произвели изменение в области техники автоматизации. Система УРСАТРОН 5000 промышленности ГДР полностью включается в данное развитие. Изображен опыт, накопленный при применении этой приборной техники на выбранных примерах различных отраслей промышленности, между прочим управления станками без ЧПУ, устройств программно-логического управления на судах, применения регуляторов в химической промышленности, на электростанциях и для регулирования теплиц. Указаны общепринятые выводы для дальнейших развитий.

Hoyer, H.:

Места стыковки процесса в микровычислительной технике

msr, Berlin 27 (1984) 7, стр. 302 и 303

Как альтернативное решение к аналоговому напряжению обсуждена частота как сигнальный параметр. Во многих случаях она позволяет оформление надежных мест стыковки с очень выгодными расходами. Более подробно изображены связи между точностью, временным поведением и аппаратурными затратами. Простыми средствами также и возможна реализация коммуникации человек-машина и дистанционных передач данных.

Kirste, A.:

Структуры контуров регулирования электромеханического гидравлического исполнительного устройства управления поворотным трактором К-700 и их аппаратурная реализация

msr, Berlin 27 (1984) 7, стр. 308—311

Для автоматического управления трактором К-700, вызывающим продольный изгиб применяется серийно выпускаемый гидравлический агрегат, управляемый вручную. Приводом служит исполнительный двигатель постоянного тока с транзисторным импульсным исполнителем. Более подробно исследованы объект регулирования с нелинейными органами передачи, образуемыми выборками, вентильной характеристикой и пружинами возврата, а также и возможные вспомогательные регулирующие величины ввиду того, что только таким образом возможно стабильное следящее регулирование угла продольного изгиба. Как предпочтительные варианты без необходимого вмешательства в устройство управления вручную отмечена вспомогательная величина момента управления шпинделем, образуемая из измеряемых величин тока двигателя и скорости угла двигателя в связи с микровычислительным регулятором.

Blumauer, G.; Diederich, P.:

Проектирование структур вентильного сопряжения при помощи вентильной агрегатной системы типа ОРСТА „p_n 32"

msr, Berlin 27 (1984) 7, стр. 312—315

Разработка вентильных структур сопряжения для изображения гидравлических управлений представляет собой временно-интенсивный участок обработки с большой долей рутинных деятельностей. Агрегатная система для вентилей сопряжения нижних плат — комплексная и показывает большую переменность возможных сопряжений. На основе анализов у изготовителей вентильных сопряжений группированы предпочтительные варианты, сильно ограничивающие многообразия типов в виде каталога проектирования. Этот каталог вместе с правилами и указаниями по проектированию структуры облегчает работу проектирования.

Friedrich, A.:

Систематические методы проектирования управлений специальными машинами и манипуляторами

msr, Berlin 27 (1984) 7, стр. 316—320

На основе примера из техники изготовления представлены четыре простых метода разработки, которые по систематическому пути приводят к схемам прохождения сигнала, схемам соединений переключательных элементов и программам управления специальными машинами без ЧПУ или манипуляторами. При этом отмечены преимущества и недостатки этих методов относительно затраты на проектирование, пригодности для определенной аппаратурной техники с точки зрения экономии материалов и во избежание пробегов сигнала.

SUMMARIES

Wechsung, G.:

Design of Efficient Algorithms — an Essential Presupposition for the Rational Treatment of Automation Problems

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 290—293

The author points out the importance of the design of less complicated algorithms for automation problems. After having explained complexity-theoretical basic notions he represents three design principles (divide and reign, Greedy, dynamical programming) and explains them by means of examples. The necessary notion formations as to optimization problems are included and an insight into the theory or approximative problem solutions is given.

W. W. Solodownikow:

The Principle of Complexity in Modern Control Theory

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 294—296

In this contribution the author explains a new method of designing technical systems, the principle of complexity in its basic features. Its application is illustrated by means of examples and problem statements of the control theory. The theory of complexity takes into account besides the demands as to quality also the expense necessary for the system realization.

Fuchs, H.:

Experiences with Using Devices and Equipments of the URSATRON 5000 System

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 298—301

Microcomputer-supported automation systems and hierarchical structures have caused a change in automation engineering. The URSATRON 5000 system of the GDR's industries also belongs to this development. The author presents experiences with applying these apparates by means of selected examples from different industrial branches, such as non-numerical machine tool controls, programmable controls on ships, feedback controller application in chemical industries, power stations and greenhouses. General conclusions for the further development are derived.

Hoyer, H.:

Process Interfaces with Microcomputers

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 302 and 303

As an alternative to the analogue quantity voltage the author discusses the frequency as signal parameter. In many cases it allows a cheap and reliable interface solution. The connections between accuracy, time behavior and technical expense are presented in more detail. Furthermore the realization of man-machine communication and of data remote transmissions becomes possible by simple means.

Kirste, A.:

Control Loop Structures of an Electromechanical-Hydraulic Final Control Device and Its Technical Realization for Steering the Wheel Tractor K-700

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 308—311

For the automatic guidance of the flexibly directed tractor K-700 the hydraulic manual steering aggregate from series production is used. A direct current motor with transistorized impulse controller serves as drive. The author studies in detail the plant together with nonlinear transfer elements formed by backlash, valve characteristic and retreat springs as well as possible auxiliary controlled variables since only in this way a stable servocontrol of the buckling angle becomes possible. As a preferred variant without interventions into the manual steering aggregate the author points out the auxiliary variable steering spindle moment formed by the measured values motor current and motor angular velocity in connection with a microcomputer-based feedback controller.

Blumauer, G.; Diederich, O.:

Design of Valve Enchaining Structures by Means of the ORSTA Valve Building Block System „p_n 32“

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 312—315

The design of valve enchaining structures for the representation of hydraulic controls requires much time and contains a lot of routine activities. The building block system for valves of the lower plate enchaining is complex and offers a high variety of possible enchainings. On the base of analyses with the producer of valve enchainings preferred variants essentially limiting the type variety have been put together in form of a design catalogue. This catalogue in connection with rules and hints for designing a structure facilitates the design work.

Friedrich, A.:

Systematical Method for Designing Controls of Special Machines and Manipulating Devices

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 316—320

On the base of an example from manufacturing the author presents four simple design methods which via a systematical way lead to signal flow diagrams, control current schemes and control programs for special machines or manipulating devices controlled non-numerically. With this, the advantages and shortcomings of these methods with regard to design expense, aptness to a certain apparatus technique from a material-economical point of view and to the avoidance of signal races are pointed out.

RÉSUMÉS

Wechsung, G.:

Le projet d'algorithmes efficaces — une présupposition essentielle pour le traitement rationnel de problèmes d'automatisation

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 290—293

L'auteur souligne l'importance du projet d'algorithmes moins compliqués pour des problèmes d'automatisation. Après ayant expliqué des notions de base complexité-théoriques, il présente trois principes de conception (divise et règne, Greedy, la programmation dynamique) et les explique à l'aide d'exemples. Les nécessaires formations de notions quant aux problèmes d'optimisation sont incluses et une idée de la théorie des solutions de problème approximatives est donnée.

W. W. Solodownikow:

Le principe de la complexité dans la théorie de commande moderne

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 294—296

Dans cette contribution, l'auteur explique en traits fondamentaux une nouvelle méthode du projet de systèmes techniques, le principe de la complexité. Son emploi est illustré à l'aide d'exemples et de problèmes de la théorie de commande. La théorie de la complexité ne tient pas compte seulement des exigences quant à la qualité mais aussi de dépenses nécessaires pour la réalisation du système.

Fuchs, H.:

Des expériences en employant des appareils et des équipements du système URSATRON 5000

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 298—301

Des systèmes d'automatisation supportés par microordinateurs et des structures hiérarchiques ont causé un tournant dans la technique d'automatisation. Le système URSATRON 5000 de l'industrie de la RDA fait également partie de ce développement. Des expériences en employant ces dispositifs sont présentées à l'aide d'examples choisis de différentes branches industrielles, par exemple commandes non-numériques de machines-outils, commandes programmables sur bateaux, emploi de régulateurs dans les industries chimiques, centrales électrique et serres. Des conclusions générales pour des développements ultérieurs sont dérivées.

Hoyer, H.:

Des interfaces de processus dans la micro-informatique

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 302 et 303

Comme une alternative à la grandeur analogique tension, l'auteur discute la fréquence comme paramétre de signal. En beaucoup de cas, elle permet d'arriver à une solution d'interface bon marché et fiable. Les connexions entre la précision, le comportement temporel et la dépense technique sont présentées en détail. La réalisation d'une communication homme-machine et de télétransmissions des données est également possible par de simples moyens.

Kirste, A.:

Les structures de boucle de réglage d'un organe de manoeuvre électromécanique-hydraulique et sa réalisation technique pour la conduite du tracteur à roues K-700

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 308—311

Pour la direction automatique du tracteur K-700 conduit flexiblement, on utilise l'agrégat de direction manuel hydraulique produit en série. Un moteur à courant continu avec un organe de commande à impulsions transistorisé sert d'entraînement. L'auteur étudie en détail l'objet à asservir en cennexion avec les éléments de transfert nonlinéaires formés par le jeu, la caractéristique de la soupape et les ressorts de rappel ainsi que les possibles valeurs réglées auxiliaires parce que ce n'est qu'une telle manière qui rend possible un asservissement stable de l'angle de flexion. Comme une variante de préférence sans interventions dans l'agrégat de direction manuel, l'auteur met en relief la grandeur auxiliaire couple de colonne de direction formée à partir des valeurs de mesure courant de moteur et vitesse angulaire de moteur en connexion avec un régulateur basé sur microordinateur.

Blumauer, G.; Diederich, O.:

Le projet de structures d'enchaînement de vannes à l'aide du jeu de construction en éléments préfabriqués d'ORSTA „p_n 32“

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 312—315

Le projet de structures d'enchaînement de vannes pour la représentation de commandes hydrauliques exige beaucoup de temps et contient également beaucoup d'activités de routine. Le jeu de construction en éléments préfabriqués pour des vannes de l'enchaînement de plaque basse est complexe et offre une grande variété d'enchaînements possibles. Sur la base d'analyses près le producteur d'enchaînements de vannes, des variantes de préférence limitant fortement la variété de type étaient mises ensemble en forme d'un catalogue de projet. En connexion avec des règles et des renvois pour le projet d'une structure, ce catalogue facilite le travail de projet.

Friedrich, A.:

Des méthodes systématiques pour le projet de commandes pour des machines spéciales et des dispositifs de manipulation

msr, Berlin 27 (1984) 7, pp. 316—320

Sur la base d'un exemple de la fabrication, l'auteur présente quatre simples méthodes de projet qui, d'une manière systématique, conduisent à des diagrammes de flux de signal, schèmes de courant de commande et programmes de commande pour des machines spéciales et dispositifs de manipulation commandés non-numériquement. Avec cela, les avantages et les désavantages de ces méthodes en vue de la dépense de projet, l'aptitude pour une certaine technique d'appareil d'un point de vue matériel-économique et l'évitement de courses de signaux sont mis en relief.

Bestellschein



Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Fachbuchhandel bestellen.

Expl.

Fernwirktechnik in Energiesystemen
Von *K. G. Mitjuskin.*
1. Auflage, 240 Seiten, 76 Bilder, 26 Tafeln.
Kunstleder 25,— M
Bestell-Nr.: 5529493 ....

Grundlagen der Elektrotechnik
Von *E. Philippow.*
7., durchgesehene Auflage, 984 Seiten, 674 Bilder, 11 Tafeln.
Kunstleder 51,— M (Ausland 58,— M)
Bestell-Nr.: 5529434 ....

Technologische Planung — Maschinenbau
Von einem Autorenkollektiv. Hrsg. *G. Müller* und *H.-K. Reuter.*
3., stark bearbeitete Auflage, 472 Seiten, 219 Bilder, 57 Tafeln.
Kunstleder 34,— M (Ausland 38,— M)
Bestell-Nr.: 5526735 ....

Tolerierung von Maßen und Maßketten im Austauschbau
Von *H. Trumpold, Ch. Beck* und *T. Riedel.*
1. Auflage, etwa 240 Seiten, 114 Bilder, 29 Tafeln.
Kunstleder etwa 32,— M
Bestell-Nr.: 5532000 ....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

....

....

....

....

....
Name, Vorname

....
Anschrift mit Postleitzahl

....
Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik, Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn dd
Verlagsdirektor	Dipl.-oec. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870362) Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (Telefon: 2870374)
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201. Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in andere Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandititt te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing
ČSSR	PNS — Ústředni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 12505 Praha PNS, Ústřed na Expedicia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 88419 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei și Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, București
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Előfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Komissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160, und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29.

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. der Institution enthalten.
Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1984 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Rationelles Konstruieren mit Hilfe der Rechentechnik

Seit Beginn dieses Jahrhunderts hat sich die Produktivität bei Fertigungsprozessen im Durchschnitt nahezu verzehnfacht, während sie bei der Konstruktion nur um etwa 20% stieg. In aller Welt, so auch in der DDR, wurden während der vergangenen 10 Jahre umfangreiche Erfahrungen gesammelt, durch Einsatz von Rechentechnik den Konstruktionsprozeß rationeller zu gestalten. Durch den Einsatz sog. CAD (Computer Aided Design)- und CAM (Computer Aided Manufacturing)-Systeme konnten im VEB Werkzeugmaschinenkombinat „Fritz Heckert" Karl-Marx-Stadt beachtliche Erfolge erzielt werden. So konnte z. B. beim Dimensionieren von Gestellen die Produktivität verzehnfacht werden. Durch Nutzung des Programmbausteins „Optimierung" konnte das je Maschine notwendige Sortiment von Typenrädern von bisher 88 auf 38 verringert werden. Am automatischen Konstrukteursarbeitsplatz AKT 6454 aus dem VEB Kombinat Robotron können neben den Zeichnungen eines Teiles oder einer Baugruppe auch die Arbeitsplan-Stammkarte, die Materialverbrauchsnormen sowie die Steuerlochstreifen für die numerisch gesteuerten Werkzeugmaschinen erarbeitet wurden.
Internationale Erfahrungen sagen aus, daß durch den Einsatz von CAD/CAM-Systemen die Produktivität der Konstruktionsarbeit gegenüber herkömmlichen Methoden bei Einsparung von 50% der bisher notwendigen Arbeitskräfte um das dreifache gesteigert werden kann.

(ADN-WT 1597/1598—6a)

Steuerung für Sonnenkraftwerke auf der Krim

Auf der Baustelle des ersten Sonnenkraftwerkes der UdSSR wird gegenwärtig der Rechner-Komplex für die Steuerung der Spiegel erprobt. Im Zentrum der Anlage, die auf der Krim unweit der Stadt Kertsch errichtet wird, steht ein 89 m hoher Metallturm, auf dessen Spitze ein Dampferzeuger installiert ist. Ringförmig um den Turm sind die optischen Hauptelemente der Anlage angeordnet: sogenannte Heliostate. Sie bestehen aus einzelnen Flachspiegeln von 5 mm Dicke. Insgesamt 40000 m² Reflexionsfläche sollen für den Betrieb des Kraftwerkes genutzt werden. Damit die Sonnenstrahlen stets optimal für die Dampferzeugung verwendet werden können, führt ein automatisiertes Steuerungssystem die Spiegel dem Lauf der Sonne nach. Es schaltet auch die Anlage morgens ein, wenn die Sonnenstrahlung die erforderliche Intensität erreicht hat, schaltet bei bewölktem Himmel ab und hilft, die Sonne „wiederzufinden", wenn die Bewölkung auflockert.

(ADN-WT 1601-8b)

Erster polnischer Kleinstcomputer in Serie

Die ersten Kleinstcomputer polnischer Produktion sind jetzt in den MERA-ELZAB-Werken in Zabrze vom Band gelaufen.
Sie sind mit dem Mikroprozessor U 880 aus dem VEB Funkwerk Erfurt und einem Speicher sowjetischer Produktion ausgestattet. Nach vorläufigen Plänen sollen in diesem Jahr rund 1000 solcher Geräte mit der Handelsbezeichnung „meritum-1" hergestellt werden. Sie sind vor allem für den Einsatz in Mittel- und Fachschulen konzipiert. Eine erste Test-Serie war auf der Poznaner Herbstmesse 1983 vorgestellt und dann wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen und einigen Elektronik-Spezialisten zu gründlichen Erprobungen übergeben worden.
Inzwischen laufen in Zabrze die vorbereitenden Arbeiten für weiterentwickelte Versionen mit den Typenbezeichnungen „meritum 2, 3 und 4". Diese sollen auch zur Steuerung technologischer Prozesse eingesetzt werden können.

(ADN-WT 1611-6b)

Überwachung mit Infrarot-Meßkopf

Im Chemiekombinat Leuna wird jetzt eine Abgasfackel mit Hilfe von Infrarot-Strahlen-Meßtechnik überwacht. Das in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Friedrich-Schiller-Universität Jena entwickelte Verfahren ist zum Patent angemeldet worden.
Bei der Produktion von Synthesegas fallen nichtverwertbare, mit Schadstoffen belastete Restgase an, die durch Verbrennen gefahrlos beseitigt werden müssen. Dazu ist die Beigabe von brennfähigen Gasen erforderlich. Nach dem bisherigen Überwachungsverfahren der Fackel wurde mehr brennbares Gas als für den Verbrennungsprozeß notwendig beigegeben. Jetzt erfaßt ein etwa 100 m entfernt angebrachter Meßkopf die Infrarotstrahlung der Fackel und überträgt entsprechende Daten in die Meßwarte, mit deren Hilfe die Zuführung des brennbaren Gases gesteuert werden kann. Vorerst erfolgt diese Steuerung noch von Hand, der Prozeß soll aber in absehbarer Zeit automatisiert werden.

(ADN-WT 1603-10a)

Großbritannien baut Mikroelektronik aus

Großbritannien will Schritte unternehmen, um bis Ende dieses Jahrzehnts auf dem Gebiet der Mikroelektronik international eine führende Stellung einzunehmen. Die Regierung will zusätzliche Mittel bereitstellen, um Unternehmen zu fördern, die Mikrochips, elektronische Bauelemente und moderne Informationssysteme herstellen. Damit soll abgesichert werden, daß im Industrie- und Dienstleistungssektor effektive und der modernsten Technologie entsprechende Ausrüstungen vorherrschen.
Großbritannien zählt zu den Pionierländern des Computers und verfügt bereits über eine leistungsfähige Industrie auf diesem Gebiet. Neben der praktischen Anwendung wird auch Grundlagenforschung betrieben. So ist man z. B. an der Universität Edinburgh dabei, einen optischen Computer zu entwickeln, der die bisherige Mikroelektronik eines Tages völlig revolutionieren soll. Kernstück sind die von Prof. *Desmond Smith* erfundenen „Transphasoren", die das genaue optische Äquivalent der Transistoren sind, weil sie mit Hilfe von Laserstrahlen gleichzeitig mehrere Operationen ausführen können. Man hofft, damit in Zukunft einen 100mal schnelleren Computer produzieren zu können. Da dieser sich nicht notwendigerweise auf das bisher verwendete Dualsystem stützen muß, wird nach Meinung der Wissenschaftler die Entwicklung einer völlig neuen Computer-Logik möglich sein.

(ADN-WT 1611-3b)

Mikroprozessor steuert Autobus

Die Verkehrsbetriebe in Caen/Frankreich haben jetzt erstmals mit Mikroprozessoren gesteuerte Autobusse in Betrieb genommen. Sie nennen das elektronische System „Alex". Der Busfahrer legt eine Kassette in ein Steuerpult ein, in die alle Strecken und Haltestellen seines Tagesprogramms eingespeichert sind. Mit der Zündung wird auch die Steuerung eingeschaltet und der Bus mit einer Schaltzentrale verbunden. Bei Arbeitsbeginn nennt der Apparat die Uhrzeit, auf einem neben dem Lenkrad angebrachten Bildschirm erscheint die Strecke mit den nächsten Haltestellen. Das Gerät zeigt an, ob der Fahrplan eingehalten wird, und wirkt auf die Regulierung der Fahrgeschwindigkeit und damit auf die Pünktlichkeit ein. Mit Hilfe eines Kontaktes unter dem Einstieg werden die Fahrgäste gezählt. Diese Statistik dient als Berechnungsgrundlage, um Fahrplan und Busfolge den jeweiligen Bedürfnissen entsprechend zu verändern.
Der Mikroprozessor „Alex" kann Verkehrsampeln von einer bestimmten Entfernung aus von Rot auf Grün schalten, was ihm freie Fahrt und Pünktlichkeit ermöglicht. An den wichtigsten Haltestellen sind elektronische Schalttafeln angebracht, die die tatsächliche Wartezeit bis zur Ankunft des nächsten Busses mitteilen.

(ADN-WT 1609-11b)

ISSN 0026-0347, mess., steuern, regeln
Berlin 27 (1984) 7, S. 289—336